Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU)

Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie

mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und die 16 Bundesländer haben eine Verwaltungsvereinbarung geschlossen, um gemeinsam eine auszugsweise Übersetzung der Bit-Merkblätter ins Deutsche zu organisieren und zu finanzieren, die im Rahmen des Informationsaustausches nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) (Sevilla-Prozess) erarbeitet werden. Die Vereinbarung ist am 10.1.2003 in Kraft getreten. Von den BVT-Merkblättern sollen die für die Genehmigungsbehörden wesentlichen Kapitel übersetzt werden. Auch Österreich unterstützt dieses Übersetzungsprojekt durch finanzielle Beiträge.

Als Nationale Koordinierungsstelle für die BVT-Arbeiten wurde das Umweltbundesamt (UBA) mit der Organisation und fachlichen Begleitung dieser Übersetzungsarbeiten beauftragt.

Die Kapitel des von der Europäischen Kommission veröffentlichten BVT-Merkblattes „Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie“, in denen die Besten Verfügbaren Techniken beschrieben sind (Kapitel 2.3, 2.4, 3.3, 3.4, 4.3, 4.4, 5.3, 5.4, 6.3 und 6.4), sind im Rahmen dieser Verwaltungsvereinbarung in Auftrag des Umweltbundesamtes übersetzt worden.

Die nicht übersetzen Kapitel liegen in diesem Dokument in der englischsprachigen Originalfassung vor. Diese englischsprachigen Teile des Dokumentes enthalten weitere Informationen (u.a. Emissionssituation der Branche, Technikbeschreibungen etc.), die nicht übersetzt worden sind. In Ausnahmefällen gibt es in der deutschen Übersetzung Verweise auf nicht übersetzten Textpassagen. Die deutsche Übersetzung sollte daher immer in Verbindung mit dem englischen Text verwendet werden.

Die Kapitel „Zusammenfassung“, „Vorwort“, „Umfang“ und „Schlussfolgerungen und Empfehlungen“ basieren auf den offiziellen Übersetzungen der Europäischen Kommission in einer zwischen Deutschland, Luxemburg und Österreich abgestimmten korrigierten Fassung.

Die Übersetzungen der weiteren Kapitel sind ebenfalls sorgfältig erstellt und fachlich durch das Umweltbundesamt und Fachleute der Bundesländer geprüft worden. Diese deutschen Übersetzungen stellen keine rechtsverbindliche Übersetzung des englischen Originaltextes dar. Bei Zweifelsfragen muss deshalb immer auf die von der Kommission veröffentlichte englischsprachige Version zurückgegriffen werden.

Dieses Dokument ist auf der Homepage des Umweltbundesamtes (http://www.bvt.umweltbundesamt.de/kurzue.htm) abrufbar.

Durchführung der Übersetzung in die deutsche Sprache:

Dr. Harald Schönberger
Carl-Frey-Str. 3
D-79288 Gottenheim
Tel.: +49-7665/51242
Fax: +49-7665/7174
E-Mail: hgschoe@aol.com

ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie beruht auf einem Informationsaustausch entsprechend Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Das Dokument ist im Zusammenhang mit dem Vorwort zu sehen, das die Zielsetzungen des Dokuments beschreibt und Hinweise zu seiner Verwendung gibt.

Bei Papier handelt es sich im Wesentlichen um einen Bogen oder eine Bahn aus Fasern, der zur Verbesserung seiner Eigenschaften und Qualität mit Chemikalien versetzt wird. Neben Fasern und Chemikalien werden bei der Herstellung von Zellstoff und Papier große Mengen Prozesswasser und viel Energie in Form von Dampf und Elektrizität benötigt. Daher betreffen die wichtigsten mit der Zellstoff- und Papierindustrie zusammenhängenden Umweltprobleme die Wasser- und Luftemissionen sowie den Energieverbrauch. Auch vom Abfall geht eine ständig wachsende Umweltbelastung aus.

Der Faserstoff zur Papierherstellung wird mittels chemischer oder mechanischer Verfahren entweder aus Frischfasern oder durch die Aufbereitung von Altpapier erzeugt. Eine Papierfabrik kann entweder den an einem anderen Standort erzeugten Faserstoff einfach zu Papier verarbeiten oder in den gesamten Aufschlussprozess an ein und demselben Standort integriert sein.

Im dem vorliegenden Dokument werden die einschlägigen Umweltfragen betrachtet, die sich bei der Zellstoff- und Papiererzeugung aus unterschiedlichen Faserstoffen in integrierten und nichtintegrierten Zellstoff- und Papierfabriken ergeben. In nichtintegrierten Zellstoffwerken (zur Erzeugung von Marktzellstoff) wird lediglich Zellstoff zum Verkauf auf dem freien Markt hergestellt. In nichtintegrierten Papierfabriken kommt zur Papiererzeugung Halbstoff zum Einsatz, der anderweitig erworben wurde. Demgegenüber werden in integrierten Zellstoff- und Papierwerken Zellstoff- und Papier am gleichen Standort erzeugt. Sulfatzellstofffabriken werden sowohl integriert als auch nichtintegriert betrieben, während Sulfitzellstoffanlagen normalerweise in die Papiererzeugung eingebunden sind. In den meisten Fallen sind auch der mechanische Aufschluss und die Aufbereitung von Altpapier fester Bestandteil der Papierproduktion, jedoch gibt es auch einige Einzelfälle, in denen diese Prozesse separat ausgeführt werden.

Es sei angemerkt, dass in dem vorliegenden Dokument weder umweltrelevante vorgelagerte Prozesse, wie z.B. die Forstwirtschaft, die Herstellung von Prozesschemikalien an anderen Standorten bzw. der Transport von Rohstoffen zur Fabrik, noch nachgelagerte Tätigkeiten, wie z.B. die Papierverarbeitung oder das Bedrucken von Papier, berücksichtigt werden. So werden Umweltfragen, die nicht in direktem Zusammenhang mit der Produktion von Zellstoff und Papier stehen, wie z.B. die Lagerung und der innerbetriebliche Transport von Chemikalien, Fragen der Arbeitssicherheit und der Vermeidung von Arbeitsrisiken, Probleme in Verbindung mit Wärme- und Energieerzeugungsanlagen sowie Kühl- und Vakuumsystemen und Fragen der Rohwasseraufbereitung nicht oder nur kurz behandelt.

Das vorliegende BVT-Referenzdokument ist in eine Einleitung (allgemeine Informationen, Kapitel 1) und fünf Hauptabschnitte unterteilt:

- das Sulfatverfahren (Kapitel 2),
- das Sulfitverfahren (Kapitel 3),
- der mechanische und chemisch-mechanische Aufschluss (Kapitel 4),
- die Aufbereitung von Altpapier (Kapitel 5) sowie
- die Papierherstellung und damit verbundene Verfahren (Kapitel 6).

Jedes Kapital ist entsprechend der allgemeinen Gliederung von IVU-BVT-Referenzdokumenten jeweils in fünf Hauptabschnitte unterteilt. Die Mehrheit der Leser braucht nicht das gesamte Dokument zu studieren, sondern kann sich mit jenen Kapiteln bzw. Abschnitten befassen, die für die betreffende Anlage von Interesse sind. So werden z.B. Anlagen zur Produktion von Handelssulfatzellstoff nur im Kapitel 2 abgehandelt; bei integrierten Sulfatzellstoff- und Papierfabriken genügt es, sich auf die Kapitel 2 und 6 zu konzentrieren, und einschlägige Angaben zu integrierten Altpapier verarbeitende Fabriken wurden in die Kapitel 5 und 6 aufgenommen.

Am Ende des Dokuments befindet sich eine Liste mit Referenzangaben sowie ein Glossar mit Begriffen und Abkürzungen zum besseren Verständnis des Dokuments.

Zu den allgemeinen Informationen (Kapitel 1) gehören statistische Daten zum Papierverbrauch in Europa, die geografische Verteilung der Zellstoff- und Papierproduktion in den europäischen Ländern, einige wirtschaftliche Gesichtspunkte, eine grobe Übersicht zur Zellstoff- und Papierproduktion sowie zu wesentlichen Umweltfragen und eine Klassifizierung der Zellstoff- und Papierfabriken in Europa. Am Schluss des allgemeinen Kapitels findet der Leser einige allgemeine Bemerkungen zur Festsetzung der BVT für eine Branche, die durch ein breites Spektrum von Erzeugnissen und (Kombinationen von) Verfahren sowie fortschrittliche prozessintegrierte technische Lösungen gekennzeichnet ist.

Jedes der fünf Hauptkapitel gibt Auskunft zu folgenden Punkten: angewandte Verfahren und Techniken; wesentliche Umweltaspekte wie Ressourcen- und Energiebedarf, Emissionen und Abfallproblematik; Beschreibung von einschlägigen Techniken zur Emissionssenkung, zur weitestgehenden Reduzierung des Abfallaufkommens und zur Energieeinsparung; Benennung der besten verfügbaren Techniken; in der Entwicklung befindliche Verfahren.

Im Hinblick auf die vorgelegten Emissions- und Verbrauchszahlen ist zu bedenken, dass die Daten auf Grund verschiedener Messmethoden in den einzelnen Mitgliedstaaten nicht unbedingt von Land zu Land vergleichbar sind. (Näheres dazu in Anhang III, wobei aber feststeht, dass die im vorliegenden Dokument gezogenen Schlussfolgerungen durch die verschiedenen eingesetzten Methoden nicht beeinflusst werden.)

Die Erläuterung der bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigenden Techniken folgt einer einheitlichen Gliederung und erstreckt sich auf eine kurze Beschreibung der Technik, die wichtigsten erreichten Emissionswerte bzw. der erreichte Umweltnutzen, die Anwendbarkeit, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien, Betriebserfahrungen, wirtschaftliche Gesichtspunkte, Gründe für den Einsatz dieser Technik, Anlagenbeispiele sowie Referenzliteratur. Der Abschnitt zu den besten verfügbaren Techniken beinhaltet Emissions- und Verbrauchswertebereiche in Verbindung mit der Umsetzung der BVT. Die Schlussfolgerungen zu den BVT basieren auf tatsächlichen Erfahrungen und auf der Beurteilung durch die Sachverständigen der technischen Arbeitsgruppe (TWG).

Bei der Zellstoff- und Papierherstellung handelt es sich um ein komplexes Verfahren mit zahlreichen Prozessstufen und verschiedenen Produkten. Jedoch ist es möglich, die sehr unterschiedlichen Rohstoffe sowie die Verfahren bei der Zellstoff- und Papierfertigung zum Zwecke der Erläuterung in einzelne Abschnitte zu untergliedern. Im vorliegenden Dokument werden Umweltaspekte und einschlägige Techniken zur Vermeidung und Verminderung von Emissionen/Abfällen und zur Senkung des Energie- und Rohstoffverbrauchs getrennt für fünf Hauptklassen beschrieben (Kapitel 2 bis 6). Wenn es als geeignet und erforderlich angesehen wird, werden diese Hauptklassen weiter in Unterklassen unterteilt.

Das Dokument widerspiegelt für die betreffende Branche das breite Spektrum von Rohstoffen, Energieträgern, Produkten und Verfahren, die in der europäischen Papierindustrie zum Einsatz kommen. Jedoch gibt es in Einzelfällen innerhalb der Hauptproduktkategorien eine Reihe von Rohstoffen und Produktspezifikationen, die Unterschiede im Hinblick auf die Erzeugung einer Standardqualität aufweisen und einen Einfluss auf die Betriebsbedingungen und mögliche Verbesserungen haben können. Das gilt insbesondere für spezielle Papierfabriken, die auf ihren Maschinen nacheinander zahlreiche unterschiedliche Qualitäten herstellen bzw. für Anlagen, die Spezialpapiere produzieren

Die Schlussfolgerungen zu BVT basieren auf dem durchgeführten Informationsaustausch. Zum umfassenden Verständnis der BVT und der damit verbundenen Emissionen wird empfohlen, die BVT-Abschnitte in den einzelnen Kapiteln zu konsultieren. Die wichtigsten Erkenntnisse werden nachstehend zusammengefasst.

Allgemeine BVT für sämtliche Verfahren

Im Verlauf des Informationsaustauschs wurde festgestellt, dass die Senkung der Emissionen/des Verbrauchs und die Verbesserung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit am effizientesten durch die Umsetzung der besten

verfügbaren Verfahrens- und Umweltschutztechnologien in Verbindung mit folgenden Maßnahmen herbeigeführt werden können:

- Schulung, Ausbildung und Motivierung des Leitungs- und Bedienungspersonals;
- Optimierung der Prozesskontrolle;
- Ausreichende Wartung der technischen Anlagen und der damit verbundenen Umweltschutztechniken;
- Schaffung eines Umweltmanagementsystems zur Optimierung des Managements, zur Erhöhung des Umweltbewusstseins und zur Festlegung von Zielsetzungen und Maßnahmen sowie Prozess- und Arbeitsanweisungen usw.

BVT zur Herstellung von Sulfatzellstoff (Kapitel 2)

Beim Sulfatverfahren handelt es sich um das weltweit am häufigsten eingesetzte Aufschlussverfahren, da damit höhere Zellstofffestigkeiten erzielt werden und das Verfahren bei sämtlichen Holzarten eingesetzt werden kann. Beim Sulfatverfahren richtet sich das Interesse in erster Linie auf die Abwasserproblematik, die Beeinträchtigung der Luftqualität durch Emissionen einschließlich übelriechender Gase sowie auf den Energieverbrauch. In einigen Ländern wird davon ausgegangen, dass sich auch die entstehenden Abfälle zu einem Umweltproblem entwickeln können. Als Rohstoffe werden mehrheitlich erneuerbare Ressourcen (Holz und Wasser) sowie Chemikalien zum Kochen und Bleichen eingesetzt. Die Gewässer werden in erster Linie durch organische Substanzen belastet. Abwasser aus Bleichanlagen, in denen chlorhaltige Bleichchemikalien zum Einsatz kommen, enthalten organische Chlorverbindungen, die in Form von AOX gemessen werden. Einige Verbindungen, die in den Abwässern enthalten sind, haben toxische Wirkungen auf Wasserorganismen. Emissionen von gefärbten Substanzen können negative Auswirkungen auf die Fauna im betroffenen Gewässer nach sich ziehen. Emissionen von Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) können zur Eutrophierung im Gewässer beitragen. Aus dem Holz extrahierte ***Metalle*** werden zwar nur in geringen Mengen freigesetzt, können jedoch in Folge der großen Volumenströme zu einem signifikanten Problem werden. Hauptsächlich durch prozessintegrierte Maßnahmen ist es gelungen, den Gehalt von chlorierten und nicht chlorierten organischen Substanzen in den Abwässern von Zellstoffwerken entscheidend zu reduzieren.

Es wird davon ausgegangen, dass folgende Maßnahmen zu den besten verfügbaren Techniken bei Sulfatzellstoff-Anlagen gehören:

- Trockenentrindung des Holzes;
- Verstärkte Entfernung des Lignins vor der Verarbeitung in der Bleichanlage durch ein verlängertes bzw. modifiziertes Kochen und zusätzliche Sauerstoffstufen;
- Hocheffizientes Waschen des ungewaschenen Zellstoffs sowie Sortieren des ungewaschenen Zellstoffs im geschlossenen Kreislauf;
- Elementarchlorfreies (ECF) Bleichen mit geringem AOX-Gehalt bzw. total chlorfreies (TCF) Bleichen;
- Teilweises Recycling des hauptsächlich alkalischen Prozesswassers aus der Bleichanlage;
- Einsatz eines wirksamen Überwachungs-, Sicherungs- und Wiedergewinnungssystems für das Leckagewasser;
- Strippung und Wiederverwendung des Kondensats aus der Eindampfanlage;
- Bereitstellung ausreichender Kapazitäten in der Schwarzlaugeneindampfanlage und beim Laugen-Rückgewinnungskessel zum Zwecke der Aufnahme der zusätzlichen Laugen- und Feststoffbelastungen;
- Auffangen und Wiederverwenden des sauberen Kühlwassers;
- Bereitstellung ausreichend großer Pufferbehältern zur Speicherung aufgefangener Koch- und Aufbereitungslösungen und des verschmutzten Kondensats mit dem Ziel der Vermeidung von plötzlich auftretenden Belastungsspitzen und gelegentlichen Störungen in der externen Abwasserbehandlungsanlage;
- Neben den prozessintegrierten Maßnahmen zählen auch primäre und biologische Abwasserbehandlungsverfahren zu den besten verfügbaren Techniken für Sulfatzellstoffanlagen.

Bei Anlagen zur Herstellung von gebleichtem und ungebleichtem Sulfatzellstoff sehen die BVT-Werte für die Wasserbelastung beim Einsatz einer geeigneten Kombination der entsprechenden Techniken wie folgt aus:

	Abwasser volumen-strom m^3/t	CSB kg/t	BSB kg/t	Abfiltrierbare Stoffe kg/t	AOX kg/t	Gesamt-N kg/t	Gesamt-P kg/t
Gebleichter Zellstoff	30 - 50	8-23	0,3-1,5	0,6-1,5	< 0,25	0,1-0,25	0,01-0,03
Ungebleichter Zellstoff	15 - 25	5-10	0,2-0,7	0,3-1,0	-	0,1-0,2	0,01-0,02

Bei diesen Emissionswerten handelt es sich um Jahresmittelwerte. Der Abwasservolumenstrom basiert auf der Annahme, dass Kühlwasser und sonstiges sauberes Wasser getrennt eingeleitet wird. Die angegebenen Werte beziehen sich ausnahmslos auf die Belastungen durch den Aufschluss. Bei integrierten Anlagen sind die Emissionen aus dem Bereich Papierherstellung (siehe Kapitel 6) entsprechend dem tatsächlichen Produktsortiment hinzuzufügen.

Abgasemissionen aus unterschiedlichen Quellen stellen ein weiteres wesentliches Umweltproblem dar. Emissionen in die Atmosphäre entstehen am Laugen-Rückgewinnungskessel, am Kalkofen, bei der Rindenverbrennung, bei der Hackschnitzellagerung, am Zellstoffkocher, bei der Zellstoffwäsche, in der Bleichanlage, bei der Aufbereitung der Bleichchemikalien, beim Eindampfen, Sortieren und Waschen sowie bei der Aufbereitung des Kreislaufwassers und an verschiedenen Tanks. Dazu gehören ebenfalls diffuse Emissionen, die an verschiedenen Punkten des Prozesses entweichen, in der Hauptsache am Laugen-Rückgewinnungskessel, am Kalkofen sowie an den Hilfskesseln. Hauptbestandteile der Emissionen sind Stickoxide, schwefelhaltige Verbindungen, wie z.B. Schwefeldioxid, sowie übelriechende reduzierte Schwefelverbindungen. Schließlich gelangt auch Staub in die Atmosphäre.

Zur Verminderung der Emissionen in die Atmosphäre können die nachstehend aufgeführten besten verfügbaren Techniken eingesetzt werden:

- Erfassen und Verbrennen von konzentrierten übelriechenden Gasen und Abgasreinigung von entstehenden SO_2-Emissionen. Starkgase können im Rückgewinnungskessel, im Kalkofen oder in einer separaten Verbrennung mit niedrigem NO_x-Gehalt beseitigt werden. Das Rauchgas aus der letztgenannten Anlage weist eine hohe Konzentration von SO_2 auf, das mittels eines Gaswäschers zurückgewonnen wird.
- Verdünnte übelriechende Gase aus verschiedenen Emissionsquellen werden ebenfalls erfasst und verbrannt, wobei auch hier das entstehende Abgas von SO_2 gereinigt wird.
- Emissionen der gesamten reduzierten Schwefelverbindungen (TRS) aus dem Rückgewinnungskessel werden durch eine effiziente Überwachung des Verbrennungsprozesses und die Messung des CO-Gehalts vermindert.
- Emissionen der gesamten reduzierten Schwefelverbindungen (TRS) aus dem Kalkofen werden durch die Kontrolle des Sauerstoffüberschusses, durch den Einsatz von schwefelarmen Brennstoffen sowie durch die Überwachung löslicher Natriumverbindungen vermindert, die sich im Kalkschlamm befinden, mit dem der Ofen gespeist wird.
- Die SO_2-Emissionen aus den Laugen-Rückgewinnungskesseln werden durch die Einspeisung von Schwarzlauge mit hohem Feststoffgehalt in den Rückgewinnungskessel bzw. durch den Einsatz eines Rauchgaswäschers vermindert.
- Zu den BVT gehört ferner die Senkung der NO_x-Emissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel (d.h. geeignete Mischung und Verteilung der Luft imKessel) sowie aus dem Kalkofen und den Hilfskesseln durch die Regelung der Feuerungsbedingungen sowie zusätzlich durch geeignete Auslegung neuer und nachgerüsteter Anlagen.
- SO_2-Emissionen aus Hilfskesseln können durch den Einsatz von Rinde, Gas, schwefelarmem Heizöl und schwefelarmer Kohle bzw. durch die Reinigung des Abgases von Schwefelverbindungen in einem Gaswäscher vermindert werden.
- Rauchgase aus Laugen-Rückgewinnungskesseln und Hilfskesseln (in denen andere Biomassebrennstoffe bzw. fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen) sowie Kalköfen werden mit wirksamen Elektrofiltern gereinigt, um die Emission von Staub zu reduzieren.

Für Anlagen zur Herstellung von gebleichtem und ungebleichtem Sulfatzellstoff werden die BVT-Werte für die Abgasbelastung bei Einsatz einer geeigneten Kombination der genannten Techniken in folgender Tabelle ausgewiesen. Bei den Emissionswerten handelt es sich dabei um Jahresmittelwerte unter Normbedingungen.

Die Angaben enthalten jedoch nicht die Emissionen aus Hilfskesseln, die zum Beispiel bei der Erzeugung von Dampf für die Trocknung des Zellstoffs bzw. Papiers entstehen. Im Hinblick auf die Emissionswerte bei Hilfskesseln verweisen wir den Leser auf den Abschnitt „BVT für Hilfskessel“.

	Staub kg/t	**SO_2 (als S) kg/t**	**NOx ($NO+NO_2$ als NO_2) kg/t**	**TRS (als S) kg/t**
Gebleichter und unge-bleichter Sulfatzellstoff	0,2-0,5	0,2-0,4	1,0-1,5	0,1-0,2

Diese Werte beziehen sich allein auf den Beitrag der Zellstoffproduktion. Dies bedeutet, dass sich bei integrierten Anlagen die Werte der Prozessemissionen allein auf die Herstellung von Sulfatzellstoff beziehen und nicht die Emissionen aus Dampferzeugern bzw. sonstigen Anlagen enthalten, die möglicherweise betrieben werden, um die zur Papierherstellung erforderliche Energie bereit zu stellen.

Zu den besten verfügbaren Techniken bei der Abfallverminderung gehören die weitestgehende Verminderung sowie die Wiedergewinnung, Aufbereitung und Verwertung von festen Abfällen, wo immer sich dies als praktikabel erweist. Eine Getrennterfassung und Zwischenlagerung von Abfallfraktionen am Entstehungsort erleichtert das Erreichen dieses Ziels in beträchtlichem Maße. Wenn der erfasste Abfall im Prozess selbst nicht wieder verwendbar ist, dann gehört die externe Verwertung von Reststoffen/Abfällen als Ersatzstoff bzw. die Verbrennung von organischen Stoffen in entsprechend konstruierten Kesseln bei gleichzeitiger Energierückgewinnung zu den BVT.

Zur Senkung des Verbrauchs von Frischdampf und elektrischer Energie und zur Steigerung der anlageninternen Erzeugung von Dampf und Strom steht eine Reihe von Maßnahmen zur Verfügung. In energieeffizienten nichtintegrierten Zellstoffwerken übersteigt der Anteil der aus Schwarzlauge und der Rindenverbrennung erzeugten Wärme den Energiebedarf für den gesamten Produktionsprozess. Trotzdem ist der Einsatz von Heizöl nach wie vor an bestimmten Punkten erforderlich, wie z.B. beim Anfahren der Anlage und auch am Kalkofen vieler Zellstoffwerke.

Der Wärme- und Stromverbrauch energieeffizienter Anlagen zur Sulfatzellstoff- und Papierherstellung stellt sich wie folgt dar:

- Nicht integrierte Anlagen zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff: 10-14 GJ/t Zellstoff Prozesswärme und 0,6-0,8 MWh/t Zellstoff elektrische Energie;
- Integrierte Anlagen zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff und Papier (z.B. ungestrichenes Feinpapier): 14-20 GJ/t Zellstoff Prozesswärme und 1,2-1,5 MWh/t Zellstoff elektrische Energie
- Integrierte Anlagen zur Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff und Papier (z.B. Kraftliner): 14-17,5 GJ/t Zellstoff Prozesswärme und 1-1,3 MWh/t Zellstoff elektrische Energie.

BVT für die Herstellung von Sulfitzellstoff (Kapitel 3)

Sulfitzellstoff wird in wesentlich geringeren Mengen hergestellt als Sulfatzellstoff. Das Aufschlussverfahren kann hier unter Einsatz verschiedener Aufschlusschemikalien durchgeführt werden. Das vorliegende Dokument konzentriert sich in der Hauptsache auf den Magnesium-Sulfit-Aufschluss, da dieses Verfahren sowohl kapazitätsmäßig als auch von der Anzahl der in Europa betriebenen Anlagen einen vorderen Platz einnimmt.

Das Sulfatverfahren und das Sulfitverfahren weisen zahlreiche Ähnlichkeiten auf, nicht zuletzt im Hinblick auf die Möglichkeiten zum Einsatz unterschiedlicher interner und externer Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen. Die Hauptunterschiede zwischen den beiden Verfahren zur Zellstoffherstellung aus Sicht des Umweltschutzes liegen in der chemischen Beschaffenheit des Kochprozesses, im System der Chemikalienvor- und -aufbereitung sowie in einem weniger intensiven Bleichvorgang, da Sulfitzellstoff über eine höhere Ausgangsweiße verfügt.

Wie beim Sulfatverfahren gilt auch beim Sulfitverfahren das Hauptinteresse der Abwasserproblematik und den Abgasemissionen. Als Rohstoffe werden mehrheitlich erneuerbare Ressourcen (Holz und Wasser) sowie Chemikalien zum Kochen und Bleichen eingesetzt. Die Gewässer werden in erster Linie durch organische Substanzen belastet. Einige Verbindungen, die in den Zellstoffabwässern enthalten sind, haben toxische

Wirkungen auf Wasserorganismen. Emissionen von gefärbten Substanzen können negative Auswirkungen auf die Fauna im betroffenen Gewässer nach sich ziehen. Emissionen von Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) können zur Eutrophierung im Gewässer beitragen. Aus dem Holz extrahierte Metalle werden zwar nur in geringen Mengen freigesetzt, können jedoch in Folge der großen Volumenströme zu einem signifikanten Problem werden. Beim Bleichen des Sulfitzellstoffs wird der Einsatz chlorhaltiger Bleichchemikalien normalerweise vermieden, d.h. das TCF-Bleichverfahren wird eingesetzt. Aus diesem Grund enthalten Abwässer aus Bleichanlagen keine größeren Mengen an organischen Chlorverbindungen.

Im Allgemeinen stehen für Sulfitzellstoffanlagen deutlich weniger Informationen zur Festlegung der BVT zur Verfügung als für Sulfatzellstoffanlagen. Daher konnten aus den begrenzten Informationen, die seitens der Mitglieder der technischen Arbeitsgruppe (TWG) während des Informationsaustausches bereitgestellt wurden, nur einige wenige Techniken ebenso ausführlich beschrieben werden wie beim Sulfatverfahren. Der verfügbare Datenbestand ist von relativ geringem Umfang. Dieses Ungleichgewicht konnte aufgrund der zwischen dem Sulfit- und dem Sulfatverfahren bestehenden Ähnlichkeiten teilweise kompensiert werden. Verschiedene Techniken zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung bei der Sulfatzellstoffherstellung gelten in den meisten Fällen auch für das Sulfitzellstoffverfahren. An den Stellen, an denen es besondere Unterschiede zwischen der Sulfat- und der Sulfittechnologie gibt, wurde versucht, die erforderlichen Informationen einzuholen. Jedoch konnten nur Angaben aus Österreich, Deutschland und Schweden für die Beschreibung der Techniken und die Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken genutzt werden. Die Abwasseremissionen konnten durch prozessbezogene Maßnahmen signifikant reduziert werden.

Es wird davon ausgegangen, dass es sich bei folgenden Techniken um BVT für Sulfitzellstoffanlagen handelt:

- Trockenentrindung des Holzes;
- Verstärkte Entfernung des Lignins vor der Verarbeitung in der Bleichanlage durch ein verlängertes bzw. modifiziertes Kochen;
- Hocheffizientes Waschen des ungewaschenen Zellstoffs sowie Sortieren des ungewaschenen Zellstoffs im geschlossenen Kreislauf;
- Einsatz eines wirksamen Überwachungs-, Sicherungs- und Wiedergewinnungssystems für das Leckagewasser;
- Stilllegung der Bleichanlage im Falle des Einsatzes von Kochprozessen auf Natriumbasis;
- Einsatz des TCF-Bleichverfahrens;
- Neutralisierung der Schwachlauge vor der Eindampfung und anschließende Wiederverwendung eines Großteils des Kondensats im Prozess selbst oder dessen anaerobe Behandlung;
- Zur Vermeidung unnötiger Belastungen und gelegentlicher Störungen bei der externen Abwasserbehandlung auf Grund des Einsatzes von Prozess-, Koch- und Aufbereitungslösungen und verschmutztem Kondensat wird das Vorhandensein ausreichend großer Pufferbehälter als notwendig erachtet;
- Zusätzlich zu prozessintegrierten Maßnahmen zählen auch primäre und biologische Abwasserbehandlungsverfahren zu den besten verfügbaren Techniken für Sulfitzellstofffabriken.

Bei Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Sulfitzellstoff sehen die BVT-Werte für die Abwasseremissionen beim Einsatz einer geeigneten Kombination der entsprechenden Techniken wie folgt aus:

	Abwasser volumen-strom m^3/t	**CSB kg/t**	**BSB kg/t**	**Abf. St. kg/t**	**AOX kg/t**	**ges-N kg/t**	**ges-P kg/t**
Gebleichter Zellstoff	40 - 55	20-30	1-2	1,0-2,0	-	0,15-0,5	0,02-0,05

Bei diesen Emissionswerten handelt es sich um Jahresmittelwerte. Der Abwasservolumenstrom basiert auf der Annahme, dass Kühlwasser und sonstiges sauberes Wasser getrennt eingeleitet werden. Die angegebenen Werte beziehen sich ausnahmslos auf die Belastungen durch den Aufschluss. Bei integrierten Anlagen sind die Emissionen aus dem Bereich Papierherstellung (siehe Kapitel 6) entsprechend dem tatsächlichen Produktsortiment hinzuzufügen.

Abgasemissionen aus unterschiedlichen Emissionsquellen stellen ein weiteres wesentliches Umweltproblem dar. Emissionen in die Atmosphäre entstehen an verschiedenen Emissionsquellen, insbesondere am Laugen-Rückgewinnungskessel und bei der Rindenverbrennung. Abgasemissionen mit weniger konzentriertem SO_2 werden bei Wasch- und Sortiervorgängen sowie an Entlüftungskanälen der Eindampfer und an verschiedenen Tanks freigesetzt. Diese Emissionen entweichen teilweise diffus an verschiedenen Stellen des Prozesses. Sie bestehen hauptsächlich aus Schwefeldioxid, Stickoxiden und Staub.

Zur Verminderung der Abgasemissionen können die nachstehend aufgeführten besten verfügbaren Techniken eingesetzt werden:

- Erfassen der konzentrierten SO_2-Emissionen und Rückhaltung in Tanks mit unterschiedlichen Druckniveaus;
- Erfassen von diffusen SO_2-Emisisonen aus unterschiedlichen Emissionsquellen und Einleitung in den Laugen-Rückgewinnungskessel als Verbrennungsluft;
- Reduzierung der SO_2-Emissionen aus dem/den Rückgewinnungskessel/n durch den Einsatz von Elektrofiltern und mehrstufigen Rauchgaswäschern sowie Erfassen und Waschen verschiedener Abgase aus Entlüftungseinrichtungen;
- Verminderung von SO_2-Emissionen aus Hilfskesseln durch den Einsatz von Rinde, Gas, schwefelarmem Heizöl und schwefelarmer Kohle bzw. durch die Reinigung des Abgases von Schwefelverbindungen;
- Verminderung der Freisetzung geruchsbelasteter Gase durch den Einsatz leistungsfähiger Erfassungssysteme;
- Reduzierung der NO_x-Emissionen aus dem Rückgewinnungskessel und den Hilfskesseln durch wirksame Regelung der Feuerungsbedingungen;
- Reinigung von Rauchgasen aus Hilfskesseln durch effiziente Elektrofilter mit dem Ziel einer geringeren Staubemission;
- Emissionsoptimierte Verbrennung von Reststoffen bei gleichzeitiger Energierückgewinnung.

Die BVT-Emissionswerte des Prozesses beim Einsatz einer Kombination aus BVT-Techniken werden in der folgenden Tabelle beschrieben. Die Angaben enthalten jedoch nicht die Emissionen aus Hilfskesseln, die zum Beispiel bei der Erzeugung von Dampf für die Trocknung des Zellstoffs bzw. Papiers entstehen. Im Hinblick auf die Emissionswerte bei diesen Anlagen verweisen wir den Leser auf den nachstehenden Abschnitt, der sich mit den BVT für Hilfskessel beschäftigt.

	Staub kg/t	**SO_2 (als S) kg/t**	**NOx (als NO_2) kg/t**
Gebleichter Zellstoff	0,02 – 0,15	0,5 – 1,0	1,0 – 2,0

Diese Emissionswerte stellen Jahresmittelwerte unter Normbedingungen dar. Die Werte beinhalten einzig und allein den Beitrag aus der Zellstoffproduktion. Das bedeutet, dass die Werte der Prozessemissionen nur für die Zellstoffproduktion gelten und keine Abgasemissionen aus Hilfskesseln bzw. sonstigen Anlagen beinhalten, die betrieben werden, um die für die Papierproduktion erforderliche Energie bereit zu stellen.

Zu den besten verfügbaren Techniken bei der Abfallverminderung gehört die weitestgehende Verminderung sowie die Wiedergewinnung, Aufbereitung und Verwertung von festen Abfällen, wo immer sich dies als praktikabel erweist. Eine Getrennterfassung und Zwischenlagerung von Abfallfraktionen am Entstehungsort erleichtert das Erreichen dieses Ziels in beträchtlichem Maße. Wenn der erfasste Abfall im Prozess selbst nicht wieder verwendbar ist, dann gehört die externe Verwertung von Reststoffen/Abfällen als Ersatzstoff bzw. die Verbrennung von organischen Stoffen in entsprechend konstruierten Kesseln bei gleichzeitiger Energierückgewinnung zu den BVT.

Zur Senkung des Verbrauchs von Frischdampf und elektrischer Energie und zur Steigerung der anlageninternen Erzeugung von Dampf und Strom steht eine Reihe von Maßnahmen zur Verfügung. Anlagen zur Herstellung von Sulfitzellstoff können sich durch die Nutzung des Heizwertes von Dicklauge, Rinde und Holzabfällen selbst mit Wärme und elektrischer Energie versorgen. In integrierten Anlagen besteht jedoch Bedarf an zusätzlichem Dampf und zusätzlicher elektrischer Energie, die entweder in Anlagen vor Ort oder an anderen Standorten

erzeugt werden. Integrierte Fabriken zur Herstellung von Sulfitzellstoff und Papier verbrauchen 18 - 24 GJ/t Zellstoff Prozesswärme und 1,2 – 1,5 MWh/t Zellstoff elektrische Energie.

BVT für mechanischen und chemisch-mechanischen Aufschluss (Kapitel 4)

Beim mechanischen Aufschluss werden die Holzfasern durch die auf die Holzmatrix wirkende mechanische Energie voneinander getrennt. Ziel dieses Vorganges ist die Erhaltung des Hauptanteils an Lignin, um dadurch eine hohe Ausbeute bei gleichzeitiger ausreichender Festigkeit und Weiße zu erzielen. Dabei ist zwischen zwei Hauptverfahren zu unterscheiden:

- Das ***Holzschliff*** - Verfahren, bei dem Holzprügel unter Wasserzusatz gegen einen rotierenden Schleifstein gedrückt wird, sowie
- das Refiner-Verfahren, bei dem Hackschnitzel in Scheibenrefinern zerfasert werden.

Die Eigenschaften des Holzstoffs können durch die Erhöhung der Prozesstemperatur und im Falle des Refiner-Verfahrens durch eine chemische Vorbehandlung der Hackschnitzel beeinflusst werden. Das Aufschlussverfahren, bei dem das Holz durch die Zugabe von Chemikalien vorgeweicht und unter Druck zerfasert wird, wird als chemisch-thermisch-mechanischer Aufschluss (CTMP) bezeichnet und ebenfalls im vorliegenden Dokument beschrieben.

In den meisten Fällen ist der mechanische Aufschluss in die Papierherstellung integriert. Aus diesem Grund werden die Emissionswerte im Zusammenhang mit dem Einsatz von BVT für integrierte Anlagen zur Herstellung von Faserstoff und Papier angegeben (mit Ausnahme des CTMP-Verfahrens).

Beim mechanischen und chemisch-mechanischen Aufschluss konzentriert sich das Interesse auf die Entsorgung der Abwässer und den Stromverbrauch für die Antriebe der Holzschleifer bzw. Refiner. Die wichtigsten Rohstoffe sind erneuerbare Ressourcen (Holz und Wasser) sowie einige Chemikalien für das Bleichen (bzw. für die chemische Vorbehandlung der Hackschnitzel beim CTMP-Verfahren). Als Prozesshilfsmittel und zur Verbesserung der Produkteigenschaften kommen während der Papierproduktion verschiedene Zusatzstoffe (Papierhilfsstoffe) zum Einsatz. Abwasseremissionen bestehen in der Hauptsache aus organischen Substanzen, die in der wässrigen Phase in Form von gelösten bzw. dispergierten Substanzen anfallen. Wenn Holzschliff in einem bzw. zwei Schritten unter Einsatz von alkalischem Peroxid gebleicht wird, erhöht sich die Freisetzung von organischen Schadstoffen beträchtlich. Die Peroxidbleiche führt zu einer zusätzlichen CSB-Belastung von ca. 30 kg O_2/t Zellstoff vor der Abwasserbehandlung. Einige der aus Papierfabriken freigesetzten Verbindungen haben toxische Wirkungen auf Wasserorganismen. Durch Nährstoffemissionen (Stickstoff und Phosphor) wird die Eutrophierung im betroffenen Gewässer begünstigt. ***Metalle***, die aus dem Holz extrahiert wurden, werden zwar nur in geringen Konzentrationen eingeleitet, können jedoch durch die anfallenden großen Volumenströme zu einem signifikanten Problem werden.

Ein Großteil der Techniken, die bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigen sind, betreffen die Verminderung der Abwasseremissionen. Beim Einsatz von mechanischen Aufschlusstechnologien sind die Wasserkreisläufe in der Regel stark eingeengt. Dabei wird überschüssiges gereinigtes Wasser aus der Papiermaschine normalerweise zum Ersatz des Wassers genutzt, das den Kreislauf mit dem Faserstoff und den Rejekten verlässt.

Als beste verfügbare Techniken für Anlagen zum mechanischen Aufschluss gelten folgende Verfahren:

- Trockenentrindung des Holzes
- Weitestgehende Verminderung der Rejektverluste durch den Einsatz leistungsfähiger Anlagen zur Rejektbehandlung
- Wasserrückführung beim mechanischen Aufschluss
- Wirksame Trennung der Wassersysteme der Fabrik zur Holzstoff- und Papierherstellung durch den Einsatz von Eindickern
- Verwendung eines Klarwassersystems nach dem Gegenstromprinzip zwischen der Papier- und der Holzstofffabrik in Abhängigkeit vom jeweiligen Grad der Integration

- Einsatz von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten Abwasserströmen aus dem Prozess (hauptsächlich beim CTMP-Verfahren)
- Primäre und biologische Abwasserreinigung, in einigen Fällen auch Flockung bzw. chemische Fällung.

Bei CTMP-Anlagen wird auch die Kombination von anaerober und aerober Behandlung des Abwassers als effektives Verfahren angesehen. Letztlich ist auch die Eindampfung der am meisten kontaminierten Abwässer sowie die Verbrennung des ***Konzentrates*** mit zusätzlicher Belebtschlammbehandlung der Restbelastung speziell bei der Modernisierung von Fabriken eine äußerst interessante Lösung.

Die Emissionswerte für den Einsatz einer geeigneten Kombination aus diesen Techniken werden getrennt für nichtintegrierte CTMP-Anlagen sowie für integrierte Holzstoff- und Papierfabriken mit mechanischem Aufschluss aufgeführt. Bei den Emissionswerten handelt es sich um Jahresmittelwerte.

	Abwasser-volumen-strom m^3/t	**CSB kg/t**	**BSB kg/t**	**Abf. St. kg/t**	**AOX kg/t**	**ges-N kg/t**	**ges-P kg/t**
Nichtintegrierte CTMP-Fabriken (tragen nur zu einem Teil zum Aufschluss bei)	15-20	10-20	0,5-1,0	0,5-1,0	-	0,1-0,2	0,005-0,01
Integrierte Holz-stoff- und Papier-fabriken (z.B. Herstellung von Zeitungsdruck-, LWC- und SC-Papier)	12-20	2,0-5,0	0,2-0,5	0,2-0,5	< 0,01	0,04-0,1	0,004-0,01

Im Falle von integrierten CTMP-Fabriken sind in Abhängigkeit vom hergestellten Produktsortiment die Emissionen aus der Papierherstellung hinzuzufügen (siehe Kapitel 6).

Bei integrierten Holzstoff- und Papierfabriken beziehen sich die Emissionswerte sowohl auf den machanischen Holzaufschluss als auch auf die Papierherstellung und sind in kg Schadstoff pro Tonne erzeugten Papiers angegeben.

Beim mechanischen Aufschluss sind die CSB-Wertebereiche insbesondere vom Anteil des Faserrohstoffs abhängig, der mit Peroxid gebleicht wird, da die Peroxidbleiche zu höheren Anfangsbelastungen bei organischen Substanzen vor der Behandlung führt. Daher gilt der obere Bereich der Emissionswerte im Zusammenhang mit BVT für Papierfabriken mit einem hohen Anteil von peroxidgebleichtem Holzstoff aus dem thermisch-mechanischen Aufschlussverfahren (TMP).

Die Abgasemissionen sind in den meisten Fällen Emissionen aus der Wärme- und Energieerzeugung in Hilfskesseln sowie flüchtige organische Kohlenstoffe (VOC). VOC-Emissionen entstehen bei der Lagerung der Hackschnitzel, bei der Luftabführung aus Behältern zum Waschen der Hackschnitzel und anderen Behältern sowie bei Kondensaten, die bei der Dampfrückgewinnung aus den Refinern anfallen und mit flüchtigen Holzbestandteilen kontaminiert sind. Ein Teil dieser Emissionen entweicht diffus an verschiedenen Punkten der Fabrik.

Die besten verfügbaren Techniken zur Verminderung der Abgasemissionen bestehen in einer wirksamen Wärmerückgewinnung aus den Refinern sowie in der Senkung der VOC-Emissionen aus kontaminiertem Dampf. Neben den VOC-Emissionen kommt es beim mechanischen Aufschluss zu Abgasemissionen, die nicht verfahrensbedingt sind, sondern aus der Energieerzeugung vor Ort herrühren. So werden Wärme und elektrische Energie mittels Verbrennung verschiedener fossiler Brennstoffe bzw. erneuerbarer Holzrückstände, wie z.B. Rinde, erzeugt. Die besten verfügbaren Techniken für Hilfskessel werden weiter unten dargelegt.

Die besten verfügbaren Techniken zur Abfallverminderung bestehen in der weitestgehenden Verminderung festen Abfällen sowie der Rückgewinnung, dem Recycling und der Verwertung dieser Stoffe, wo immer sich dies als praktikabel erweist. Durch Getrennterfassung und Zwischenlagerung der Abfallfraktionen am Punkt der Entstehung wird die Erreichung dieses Ziels erleichtert. In den Fällen, in denen die erfassten Abfälle im

Verfahren selbst keiner Wiederverwendung zugeführt werden können, werden die externe Verwertung der Reststoffe/Abfälle als Ersatzstoffe bzw. die Verbrennung der organischen Stoffe in geeigneten Kesseln bei gleichzeitiger Energierückgewinnung als beste verfügbare Techniken angesehen, da dadurch die Entsorgung der Rejekte auf Deponien weitestgehend vermieden wird.

Zur Senkung des Verbrauchs von Frischdampf und Elektroenergie steht eine ganze Reihe von Maßnahmen zur Verfügung. Der Wärme- und Energieverbrauch effizient arbeitender Zellstoff- und Papierwerke mit mechanischem Aufschluss stellt sich wie folgt dar:

- In nichtintegrierten CTMP-Fabriken kann zur Stofftrocknung zurückgewonnene Prozesswärme eingesetzt werden, so dass kein Primärdampf benötigt wird. Der Verbrauch an elektrischer Energie beläuft sich dabei auf 2 - 3 MWh/t.
- In integrierten Fabriken zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier werden 0 - 3 GJ/t Prozesswärme und 2 - 3 MWh/t elektrische Energie verbraucht. Der Bedarf an Dampf orientiert sich am eingesetzten Faserrohstoff sowie dem Grad der Dampfrückgewinnung aus den Refinern.
- In integrierten Fabriken zur Herstellung von LWC-Papier werden 3 - 12 GJ/t Prozesswärme und 1,7 – 2,6 MWh/t elektrische Energie verbraucht. Dabei ist festzustellen, dass der Faserrohstoff für LWC-Papier generell nur zu einem Drittel aus PGW (Steinschliff unter Druck) bzw. TMP besteht und der übrige Teil auf gebleichten Sulfatzellstoff, Füllstoff und Streichmasse entfällt. Wenn die Produktion von gebleichtem Sulfatzellstoff am selben Standort erfolgt (integrierte Produktion), muss der Energiebedarf für die Sulfatzellstoffherstellung in Abhängigkeit vom Faserrohstoffsortiment hinzugefügt werden.
- In integrierten Fabriken zur Herstellung von SC-Papier werden 1 - 6 GJ/t Prozesswärme und 1,9 – 2,6 MWh/t elektrische Energie benötigt.

BVT für die Verarbeitung von Recyclingfasern (Kapitel 5)

Rückgewonnener Fasernrohstoff ist sind zu einem unverzichtbaren AusgangsRohstoff für die Papierherstellung geworden, zum einen auf Grund des Preisvorteils von Recyclingfasern gegenüber vergleichbaren Qualitäten primären Zellstoffs, und zum anderen auf Grund der in zahlreichen europäischen Ländern geförderten Maßnahmen zum Papierrecycling. Dabei unterscheiden sich die Systeme zur Aufarbeitungbereitung von Altpapier je nach der erwarteten produzierter Papierqualität, wobei es sich z.B. um Verpackungspapier, Zeitungsdruckpapier, Testliner bzw. oder SeidenpapierTissue handeln kann, sowie je nach dem eingesetzten Faserrohstoff. Generell können Verfahren unter Einsatz von Recyclingfasern (Verfahren zur Aufbereitung von Altpapier) in zwei Hauptkategorien unterteilt werden:

- Verfahren mit ausschließlich mechanischer Reinigung, d.h. ohne Druckfarbenentfernung (Deinking), die z.B. zur Herstellung von Testliner, Wellenpapier, Karton und Karton eingesetzt werden.
- Verfahren unter Verwendung mechanischer und chemischer Technologien, d.h. einschließlich Druckfarbenentfernung, die u.a. bei der Herstellung von Zeitungsdruckpapier, Tissue, Druck- und Kopierpapier, Zeitschriftendruckpapiere (SC/LWC) sowie bei einigen Sorten von Karton bzw. Handels-DIP (deinkter Altpapierstoff) zur Anwendung kommen.

Die Rohstoffe für die Papierproduktion auf der Grundlage von Recyclingfasern sind hauptsächlich Altpapier, Wasser, chemische Zusatzstoffe und Energie in Form von Dampf und elektrischer Energie. Dabei kommen große Mengen Wasser als Prozess- bzw. Kühlwasser zum Einsatz. Als Prozesshilfsmittel und zur Verbesserung der Produkteigenschaften werden während der Papierherstellung verschiedene Zusätze (***Papierhilfsmittel***) eingesetzt. Die Umweltbelastung umfasst bei der Verarbeitung von Altpapier grundsätzlich Abwasseremissionen, feste Abfälle (insbesondere beim Waschdeinking z.B. in Anlagen zur Herstellung von Tissue) sowie Abgasemissionen. Abgasemissionen treten vor allem bei der Energieerzeugung durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Kraftwerken auf.

Die Mehrheit der Fabriken zur Aufarbeitung von Altpapier sind in die Papierherstellung integriert. Aus diesem Grund werden die Emissionswerte im Zusammenhang mit dem Einsatz der besten verfügbaren Techniken (BVT) für integrierte Fabriken angegeben.

Ein Großteil der Techniken, die bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigen sind, beziehen sich auf die Verminderung der Abwasseremissionen.

Als beste verfügbare Techniken für Fabriken zur Aufarbeitung von Altpapier werden folgende Verfahren betrachtet:

- Trennung des geringer belasteten Wassers von belastetem Wasser sowie erneuter Einsatz des gereinigten Prozesswassers;
- Optimales Wassermanagement (Wasserkreislaufführung), Wasserreinigung durch ***Sedimentation***, Flotations- oder Filtrationsverfahren sowie erneute Nutzung des Prozesswassers für unterschiedliche Einsatzzwecke;
- Sorgfältige Trennung der Wasserkreislaufsysteme und Nutzung des Gegenstromprinzips beim Einsatz des Prozesswassers;
- Bereitstellung von Wasser zur Anwendung in Deinking-Anlagen (Flotation);
- Installation eines Ausgleichsbeckens und Vorklärung;
- Biologische Abwasserreinigung: Bei deinkten Papiersorten und gegebenenfalls auch bei Papiersorten ohne Deinking kommt die aerobe biologische Behandlung, zum Teil auch die Flockung und chemische Fällung in Frage. Bei nicht deinkten Papiersorten empfiehlt sich dagegen eine mechanische Reinigung mit anschließender anaerober-aerober biologischer Behandlung. Anlagen in diesem Bereich müssen auf Grund enger geschlossener Wasserkreisläufe oft Abwässer in höheren Konzentrationen aufbereiten;
- Partieller Wiedereinsatz von behandeltem Wasser nach der biologischen Reinigung: hierbei hängt das Ausmaß des Wiedereinsatzes des Wassers von den speziellen Papiersorten ab, die hergestellt werden. Bei nicht deinkten Papiersorten gilt dieses Verfahren als BVT. Jedoch müssen die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens sorgfältig untersucht werden, da dieses normalerweise eine weitergehende Reinigung erforderlich macht (tertiäre Behandlung).
- Behandlung interner Wasserkreisläufe.

Bei integrierten Fabriken zur Aufbereitung von Altpapier gelten im Zusammenhang mit dem Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken folgende Emissionswerte:

	Abwas-servolu-menstrom m^3/t	**CSB kg O_2/t**	**BSB kg O_2/t**	**Abf. St. kg/t**	**ges-N kg/t**	**ges-P kg/t**	**AOX kg/t**
Integrierte Altpapier verarbeitende Fabriken ohne De-inking (z.B. Wellen-stoff, Testliner, weißer Topliner, Karton usw.)	< 7	0,5-1,5	<0,05-0,15	0,05-0,15	0,02-0,05	0,002-0,005	<0,005
Altpapier verarbei-tende Fabriken mit Deinking (z.B. Zeitungsdruckpapier, Druck- und Schreib-papier usw.)	8 - 15	2 - 4	<0,05-0,5	0,1-0,3	0,05-0,1	0,005-0,01	<0,005
Altpapier verarbei-tende Fabriken zur Herstellung von Tissue	8-25	2,0-4,0	<0,05-0,4	0,1-0,4	0,05-0,25	0,005-0,015	<0,005

Die BVT-Emissionswerte stellen Jahresmittelwerte dar und werden getrennt für die Verfahren mit bzw. ohne Druckfarbenentfernung dargestellt. Die Abwasservolumenströme basieren auf der Annahme, dass Kühlwasser und sonstiges unbelastetes Wasser getrennt eingeleitet werden. Die Werte gelten für integrierte Anlagen, in denen die Aufbereitung des Altpapiers und die Papierherstellung an einem Standort durchgeführt werden.

Auch die gemeinsame Behandlung von Abwasser aus einer einzigen Altpapier verarbeitenden Fabrik oder einer Gruppe von Altpapier verarbeitenden Fabriken in einer kommunalen Abwasserbehandlungsanlage wird als BVT eingestuft, wenn die gemeinsame Anlage für die Behandlung von Abwässern aus Papierfabriken geeignet ist. Bevor diese Variante als BVT eingestuft wird, sollte der Wirkungsgrad der Reinigung in der gemeinsamen

Abwasserbehandlungsanlage berechnet und vergleichbare Reinigungswirkungsgrade bzw. Konzentrationen der Einleitungen festgelegt werden.

Die Abgasemissionen aus Altpapier verarbeitenden Fabriken fallen hauptsächlich in Anlagen zur Erzeugung von Wärme und in einigen Fällen auch in Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung an. Daher ist die Energieeinsparung eng mit der Verminderung der Abgasemissionen verbunden. Bei den Energieerzeugungsanlagen handelt es sich gewöhnlich um Standardkessel, so dass sie wie jedes andere Kraftwerk dieser Art behandelt werden können. Bei der Senkung des Energieverbrauchs und der Emissionen in die Atmosphäre gelten folgende Maßnahmen als beste verfügbare Techniken: Kraft-Wärme-Kopplung, Modernisierung der vorhandenen Kessel sowie Einsatz von technischen Einrichtungen mit geringerem Energiebedarf bei Ersatzinvestitionen. Bezüglich der BVT-Emissionswerte wird auf den weiter unten aufgenommenen Abschnitt zu den besten verfügbaren Techniken für Hilfskessel verwiesen.

Zu den besten verfügbaren Techniken bei der Abfallverminderung werden die weitestgehende Verminderung von festen Abfällen sowie die Rückgewinnung, das Recycling und der Wiedereinsatz dieser Stoffe gerechnet, wo immer sich dies als praktikabel erweist. Durch Getrennterfassung und Zwischenlagerung der Abfallfraktionen am Ort der Entstehung wird die Erreichung dieses Ziels erleichtert. In den Fällen, in denen die erfassten Abfälle im Verfahren selbst keiner Wiederverwendung zugeführt werden können, werden die externe Verwertung der Reststoffe/Abfälle als Ersatzstoffe bzw. die Verbrennung der organischen Stoffe in geeigneten Kesseln bei gleichzeitiger Energierückgewinnung als beste verfügbare Techniken angesehen. Die Verminderung fester Abfälle kann durch eine Optimierung der Faserrückgewinnung mittels Modernisierung der betreffenden Faserstoffaufbereitungsanlagen, durch die Optimierung der Anzahl der Reinigungsstufen bei der Faserstoffaufbereitung, durch den Einsatz der Druckentspannungsflotation zur prozessintegrierten Abscheidung von Fasern und Füllstoffen aus Prozesswasserkreisläufen sowie durch die Aufbereitung des Prozesswassers erreicht werden. Generell ist zwischen dem Reinheitsgrad des Faserstoffs, den Faserverlusten sowie dem Energiebedarf und den Kosten ein ausgewogenes Verhältnis herzustellen, das vielfach auch von den herzustellenden Papiersorten bestimmt wird. Die Reduzierung der festen Abfälle, die auf Deponien zu entsorgen sind, zählt zu den besten verfügbaren Techniken. Erreicht werden kann dies durch eine effiziente Aufbereitung der anfallenden Rückstände und Schlämme vor Ort (Entwässerung) mit dem Ziel der Erhöhung des Trockensubstanzgehalts und durch die anschließende Verbrennung der Schlämme und Rückstände bei gleichzeitiger Energierückgewinnung. Die anfallende Asche kann als Rohstoff in der Baustoffindustrie zum Einsatz kommen. Für die Verbrennung von Rückständen und Schlämmen stehen verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Deren Nutzung wird lediglich durch die Größe der Papierfabrik und in gewisser Hinsicht durch die Art des Brennstoffs eingeschränkt, der für die Erzeugung von Dampf bzw. Energie genutzt wird.

In energieeffizienten Fabriken zur Aufbereitung von Altpapier wird Prozesswärme und Elektroenergie in folgenden Größenordnungen verbraucht:

- Integrierte Altpapier verarbeitende Fabriken ohne Deinking (z.B. zur Fertigung von Testliner und Wellenpapier): 6 – 6,5 GJ/t Prozesswärme und 0,7 – 0,8 MWh/t elektrische Energie;
- Integrierte Fabriken zur Produktion von Tissue einschließlich DIP-Anlage: 7 - 12 GJ/t Prozesswärme und 1,2 – 1,4 MWh/t elektrische Energie;
- Integrierte Fabriken zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier bzw. integrierte Fabriken zur Herstellung von Druck- und Schreibpapier einschließlich DIP-Anlage: 4 – 6,5 GJ/t Prozesswärme und 1 – 1,5 MWh/t elektrische Energie.

BVT zur Papierherstellung und verwandte Verfahren (Kapitel 6)

Die Herstellung der zur Papierproduktion verwendeten Fasern wurde in den Kapiteln 2 bis 5 beschrieben. In Kapitel 6 wird nunmehr die Papier- und Kartonherstellung, unabhängig von der Faserstofferzeugung dargelegt. Dieser Ansatz wurde gewählt, da in jeder Papierfabrik die Grundprozesse an der Papier- und Kartonmaschine identisch sind, gleichgültig ob es sich um eine integrierte Faserstoff- und Papierherstellung handelt oder nicht. Die Beschreibung der Papierherstellung als Bestandteil der Produktion in integrierten Faserstofffabriken würde die technische Beschreibung zu komplex machen. Hinzu kommt, dass zahlenmäßig die meisten Papierfabriken in Europa keine ***integrierten*** Anlagen sind.

Das vorliegende Kapitel ist auch für integrierte Papierfabriken von Relevanz, sofern die Papierherstellung selbst betroffen ist.

Papier wird aus Faserstoffen, Wasser und chemischen Additiven hergestellt. Darüber hinaus besteht ein hoher Energiebedarf, um das gesamte Verfahren zu realisieren. Elektrische Energie wird vor allem zum Betrieb der verschiedenen Motorantriebe und bei der Mahlung der Fasern benötigt. Prozesswärme wird in der Hauptsache zur Erwärmung von Wasser, ***anderen Flüssigkeiten*** und Luft sowie zur Wasserverdampfung in der Trockenpartie der Papiermaschine und zur Umwandlung von Dampf in Elektroenergie (bei Wärme-Kraft-Kopplung) genutzt. Große Mengen an Wasser werden als Prozesswasser und zur Kühlung benötigt. In der Papierproduktion selbst können verschiedene Zusätze als Prozesshilfsmittel bzw. zur Verbesserung der Produkteigenschaften (***Papierhilfsmittel)*** zur Anwendung kommen.

Die aus diesen Papierfabriken resultierenden Umweltprobleme hängen vornehmlich mit dem Schadstoffeintrag in das Wasser sowie mit dem Energieverbrauch und Chemikalieneinsatz zusammen. Des Weiteren fallen feste Abfälle an. Abgasemissionen erfolgen zumeist bei der Energieerzeugung durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe in Kraftwerken.

Die folgenden besten verfügbaren Techniken zur Verminderung der Abwasseremissionen sind:

- Weitestgehende Verminderung des Wassereinsatzes bei der Produktion verschiedener Papiersorten durch erhöhte Nutzung des Prozesswassers und verbessertes Wassermanagement;
- Überwachung der möglichen Nachteile einer Wasserkreislaufeinengung;
- Schaffung eines ausgewogenen Systems zur Behandlung von Kreislaufwasser, (nicht belastetem) Filtrat und zur Speicherung von Ausschuss sowie weitestgehender Einsatz von Konstruktionen, Bauarten und Maschinen mit reduziertem Wasserverbrauch. Normalerweise werden derartige Maßnahmen im Rahmen von Ersatzinvestitionen bei Maschinen bzw. Anlagenkomponenten oder im Verlaufe von Umbauarbeiten durchgeführt.
- Durchführung von Maßnahmen zur Senkung der Häufigkeit und der Auswirkungen von unbeabsichtigten Einleitungen;
- Erfassen und Wiederverwendung von unbelastetem Kühl- und Sperrwasser bzw. getrennte Einleitung;
- Separate Vorbehandlung des beim Streichen anfallenden Abwassers;
- ***Ersatz*** möglicher Schadstoffe durch weniger schädliche Alternativen;
- Abwasserbehandlung durch Einbau eines Ausgleichsbeckens;
- Behandlung des Abwassers durch primäre Aufbereitungsverfahren, biologische Behandlung und/oder in einigen Fällen sekundäre chemische Fällung bzw. Flockung. Wenn lediglich eine chemische Aufbereitung stattfindet, ist mit einer leichten Erhöhung der CSB-Einleitungen zu rechnen, die etwas höher sind, aber hauptsächlich aus leicht abbaubren Stoffen bestehen.

In der folgenden Tabelle sind die Emissionswerte für BVT in nichtintegrierten Papierfabriken getrennt für ungestrichenes und gestrichenes Feinpapier sowie für Tissue angegeben, wobei festzustellen ist, dass die Unterschiede zwischen den Papiersorten nur gering ausfallen.

Parameter	Einheiten	Ungestri-chenes Feinpapier	Gestrichenes Feinpapier	Tissue
BSB_5	kg O_2/t Papier	0,15 - 0,25	0,15 - 0,25	0,15 - 0,4
CSB	kg O_2/t Papier	0,5 - 2	0,5 - 1,5	0,4 - 1,5
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t Papier	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4
AOX	kg/t Papier	< 0,005	< 0,005	< 0,01
ges-P	kg/t Papier	0,003 - 0,01	0,003 - 0,01	0,003 - 0,015
ges-N	kg/t Papier	0,05 - 0,2	0,05 - 0,2	0,05 - 0,25
Abwasser-volumenstrom	m^3/t Papier	10 - 15	10 - 15	10 - 25

Die BVT-Emissionswerte stellen Jahresmittelwerte dar, in denen die Werte aus der Zellstoffproduktion nicht berücksichtigt werden. Obwohl sich die Angaben auf nichtintegrierte Fabriken beziehen, können sie auch zur näherungsweisen Bestimmung von Emissionen genutzt werden, die von der Papierproduktion in integrierten Fabriken ausgehen. Die Abwasservolumenströme basieren auf der Annahme, dass Kühlwasser und sonstiges unbelastetes Wasser getrennt eingeleitet wird.

Auch die gemeinsame Reinigung von Abwasser aus einer einzigen Papierfabrik oder einer Gruppe von Papierfabriken in einer kommunalen Abwasseraufbehandlungsanlage wird als BVT eingestuft, wenn das gemeinsame System für die Behandlung von Abwässern aus Papierfabriken geeignet ist. Bevor diese Möglichkeit als BVT eingestuft wird, sollte der Wirkungsgrad der Reinigung in der gemeinsamen Abwasserbehandlungsanlage berechnet und vergleichbare Reinigungswirkungsgrade bzw. Konzentrationen der Einleitungen festgelegt werden.

Die Abgasemissionen aus nichtintegrierten Papierfabriken gehen meist von Dampferzeugern und Energieerzeugungsanlagen aus. Dabei handelt es sich in der Regel um Standardkessel, die sich nicht von anderen Verbrennungsanlagen unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass diese Anlagen in der gleichen Weise wie sonstige Hilfskessel gleicher Kapazität betrieben werden (siehe weiter unten).

Zu den besten verfügbaren Techniken bei der Verminderung fester Abfälle gehören die weitestgehende Vermeidung derartiger Abfälle sowie die größtmögliche Rückgewinnung und Wiederverwendung von Reststoffen. Die Getrennterfassung von Abfallfraktionen am Ort der Entstehung sowie die Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfällen können dazu beitragen, einen erhöhten Anteil dieser Stoffe erneut einzusetzen bzw. in den Kreislauf zurück zu führen, wodurch eine Entlastung der Deponien erreicht wird. Weitere BVT sind die Reduzierung der Faser- und Füllstoffverluste, die Anwendung der Ultrafiltration zur Aufbereitung des beim Streichen anfallenden Abwassers (gilt nur für gestrichene Papiersorten) sowie die wirksame Entwässerung der Reststoffe und Schlämme zur Erzielung eines hohen Feststoffanteils. Die besten verfügbaren Techniken schließen auch die Verminderung der zu deponierenden Abfälle durch die Entwicklung von Rückgewinnungsmethoden sowie die mögliche Verwertung von Abfällen zur Wertstoffaufbereitung bzw. eine Verbrennung bei gleichzeitiger Energiegewinnung ein.

Generell wird in diesem Bereich davon ausgegangen, dass der Einsatz energieeffizienter Technologien eine der wesentlichen BVT darstellt. So bieten sich in zahlreichen Stufen des Herstellungsprozesses eine ganze Reihe von Varianten an. Im Allgemeinen sind diese Maßnahmen mit Ersatzinvestitionen, Umbaumaßnahmen bzw. Modernisierungen im Hinblick auf verfahrenstechnische Ausrüstungen verbunden. An dieser Stelle sollte betont werden, dass Energiesparmaßnahmen in den meisten Fällen nicht nur aus Gründen der Senkung des Energieverbrauchs getroffen werden. Die Hauptgründe für Investitionen sind oft die Erhöhung der Produktivität, die Verbesserung der Produktqualität und die Senkung der Gesamtkosten. Energieeinsparungen werden u.a. möglich durch die Einführung eines Systems zur Überwachung des Energieverbrauchs und der Anlagenleistung, eine effizientere Entwässerung der Papierbahn in der Pressstrecke der Papiermaschine mit Hilfe von Schuhpressen sowie die Anwendung weiterer energiesparender Technologien, wie z.B. Dickstoffauflöser, energieeffizientes Mahlen, Doppelsiebformung, Einsatz optimierter Vakuumsysteme, drehzahlveränderlicher Antriebe für Gebläse und Pumpen, elektrischer Hochleistungsmotoren und optimal ausgelegter Elektromotoren, Rückgewinnung des Dampfkondensats, Erhöhung des Feststoffanteils in der Leimpresse bzw. Einsatz von Systemen zur Abwärmerückgewinnung. Der direkte Dampfeinsatz kann durch eine genaue Prozessintegration unter Einsatz von Energieeffizienz-Analysen (Pinch – Analysen) reduziert werden.

In energieeffizienten nichtintegrierten Papierfabriken werden Wärme und Energie in folgenden Größenordnungen verbraucht:

- In nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von ungestrichenem Feinpapier besteht ein Prozesswärmebedarf von 7 – 7,5 GJ/t und ein Energiebedarf von 0,6 – 0,7 MWh/t;
- In nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von gestrichenem Feinpapier beläuft sich der Prozesswärmebedarf auf 7 - 8 GJ/t und der Energiebedarf auf 0,7 – 0,9 MWh/t;
- Nichtintegrierte Fabriken zur Herstellung von Tissue aus Frischfasern benötigen Prozesswärme in Höhe 5,5 – 7,5 GJ/t und elektrische Energie in Höhe von 0,6 – 1,1 MWh/t.

BVT für Hilfskessel

Die Abgasemissionen aus Hilfskesseln sind unter Berücksichtigung der tatsächlichen Energiebilanz einer konkreten Zellstoff- bzw. Papierfabrik, der Art der außerhalb bezogenen Brennstoffe und dem Einsatz möglicher Biomassebrennstoffe wie Rinde und Holzabfall zu betrachten. Zellstoff- und Papierfabriken, die Faserstoffe aus Primärfasern herstellen, betreiben im allgemeinen rindenbefeuerte Kessel. Bei nichtintegrierten Papierfabriken und Altpapier verarbeitende Fabriken fallen Abgasemissionen hauptsächlich an Dampferzeugern und/oder Energieerzeugungsanlagen an. Bei diesen Anlagen handelt es sich generell um Standardkessel, wobei sich die Anlagen selbst von sonstigen Verbrennungsanlagen nicht unterscheiden. Es wird davon ausgegangen, dass diese Anlagen wie alle anderen derselben Kapazität betrieben werden. Daher werden die allgemein anerkannten besten verfügbaren Techniken für Hilfskessel in vorliegendem Dokument nur kurz aufgeführt. Bei diesen Techniken handelt es sich um folgende:

- Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung , wenn das Wärme/Kraft-Verhältnis dies zulässt;
- Verwendung erneuerbarer Brennstoffe wie Holz bzw. eventuell anfallender Holzabfall zur Verminderung des Ausstoßes von fossilem CO_2;
- Minderung der NO_x-Emissionen aus Hilfskesseln durch Regelung der Feuerungsbedingungen sowie Einbau von Brennern mit geringen NO_x-Emissionen;
- Verminderung der SO_2-Emissionen durch den Einsatz von Rinde, Gas bzw. schwefelarmen Brennstoffen oder Reinigung des Abgases von Schwefelverbindungen;
- Verwendung wirksamer Elektrofilter (bzw. Schlauchfilter) zur Staubabscheidung in Hilfskesseln, die mit festen Brennstoffen befeuert werden.

In der nachstehenden Tabelle werden BVT-Emissionswerte für Hilfskessel in der Zellstoff- und Papierindustrie angeführt, in denen verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden. Bei diesen Werten handelt es sich um Jahresmittelwerte unter Normbedingungen. Jedoch ist festzustellen, dass die produktspezifischen Abgasemissionen insgesamt in hohem Maße standortabhängig sind (z.B. eingesetzte Brennstoffart, Größe und Typ der Fabrik, integrierte bzw. nichtintegrierte Bauart des Werkes, Stromerzeugung).

Freigesetzte Stoffe	Kohle	Schweres Heizöl	Dieselöl	Gas	Biomasse-brennstoffe (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoffeinsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 –200 [1] (50-100)[5]	25-50	<5	< 15
mg NO_x/MJ Brennstoffeinsatz	80 - 110 [2] (50-80 SNCR)[3]	80 – 110 [2] (50–80 SNCR)[3]	45-60 [2]	30 -60 [2]	60 –100 [2] (40–70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] 6% O_2	10 – 40 [4] 3 % O_2	10-30 3% O_2	< 5 3% O_2	10 - 30 [4] 6% O_2

Hinweise:
1) Schwefelemissionen aus öl- bzw. kohlebefeuerten Kesseln entstehen in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von schwefelarmem Heizöl und schwefelarmer Kohle. Eine gewisse Schwefelreduzierung kann durch das Eindüsen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Nur bezogen auf die Verbrennungstechnologie.
3) Sofern auch Sekundärmaßnahmen wie SNCR zur Anwendung kommen; jedoch normalerweise nur in Großanlagen.
4) Werte bei Einsatz leistungsfähiger Elektrofilter.
5) Bei Verwendung eines Gaswäschers; kommt nur bei Großanlagen zum Einsatz.

In diesem Zusammenhang muss festgestellt werden, dass die in der Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzten Hilfskessel sehr unterschiedliche Größen aufweisen (von 10 bis mehr als 200 MW). Bei kleineren Kesseln lohnt sich nur die Nutzung von schwefelarmen Brennstoffen und der entsprechenden Verbrennungstechnologien, während bei größeren Kesseln auch sekundäre Minderungsmaßnahmen hilfreich sein können. Dieser Unterschied ist aus obiger Tabelle ersichtlich. Die höheren Werte beziehen sich auf BVT für kleinere Fabriken und können durch eine entsprechende Heizölqualität und interne Maßnahmen erreicht werden; demgegenüber sind die niedrigeren Werte (in Klammern) nur mit zusätzlichen Minderungsmaßnahmen wie SNCR sowie den Einsatz von Gaswäschern zu erreichen und gelten als BVT-Werte für größere Anlagen.

Verwendung von Chemikalien und Zusatzstoffen

In der Zellstoff- und Papierindustrie werden in Abhängigkeit von der hergestellten Papiersorte, der Prozessauslegung, dem Prozessbetrieb und den geforderten Produktqualitäten zahlreiche Chemikalien eingesetzt. Dabei sind einerseits Prozesschemikalien für die Produktion der Faserstoffe erforderlich, und andererseits werden chemische Zusatzstoffe und Hilfsstoffe für die Papierherstellung benötigt. Chemische Zusatzstoffe kommen zum Einsatz, um dem Papier verschiedene Eigenschaften zu verleihen, während chemische Hilfsstoffe verwendet werden, um die Effektivität des Produktionsprozesses zu erhöhen und Störungen zu vermeiden.

Beim Einsatz von Chemikalien gilt die Verfügbarkeit einer Datenbank mit sämtlichen verwendeten Chemikalien und Zusatzstoffen sowie die Anwendung des Substitutionsprinzips als BVT. Dies bedeutet, dass bei entsprechender Verfügbarkeit weniger gefährliche Stoffe zur Anwendung kommen sollten. Des weiteren sind Maßnahmen zur Vermeidung unbeabsichtigter Einleitungen in das Erdreich bzw. in die Gewässer beim Transport und der Lagerung von Chemikalien anzuwenden.

Grad des Konsenses

Das vorliegende BVT-Referenzdokument wurde von der Mehrheit der Mitglieder der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) und der Teilnehmer beim 7. Treffen des Informationsaustauschforums gebilligt. Jedoch haben die CEPI als Vertreterin der Zellstoff- und Papierindustrie und einige wenige Mitgliedstaaten zum Ausdruck gebracht, dass sie den endgültigen Entwurf nicht vorbehaltlos unterstützen und einige der im Dokument enthaltenen Schlussfolgerungen anfechten. Nachstehend werden einige wesentliche strittige Punkte aufgeführt, und in Kapitel 7 werden weitere Einzelheiten dargelegt.

CEPI und ein Mitgliedstaat sind der Auffassung, dass der wirtschaftliche Unterschied zwischen neuen/bestehenden und großen/kleinen Anlagen nicht ausreichend berücksichtigt wurde, und dass im BVT-Referenzdokument die entsprechenden Unterschiede klar herausgestellt werden sollten. Des weiteren vertreten CEPI und drei Mitgliedstaaten die Auffassung, dass eine typische Fabrik nicht in der Lage ist, gleichzeitig alle dargelegten Emissions- und Verbrauchswerte zu erreichen, die mit dem Einsatz einer geeigneten Kombination verschiedener BVT-Techniken einhergehen. Diese Vertreter meinen, dass die Gesamtheit der Parameter keiner hinreichend ganzheitlichen Bewertung unterzogen wurde. Im Gegensatz zu dieser Ansicht wurden jedoch Fabriken ermittelt, die tatsächlich sämtliche dargelegten Werte gleichzeitig erreichen, so dass diese von einer Minderheit vertretene Auffassung nicht von der Mehrheit der TWG-Mitglieder geteilt wurde.

Abgesehen von diesen Fragen allgemeiner Art, gibt es einige wenige spezielle Probleme, bei denen die abschließenden Schlussfolgerungen nicht auf die einstimmige Zustimmung der technischen Arbeitsgruppe stießen. CEPI und zwei Mitgliedstaaten sind der Meinung, dass bei dem Wert für abfiltrierbare Stoffe bei der Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff der obere BVT-Wert 2,0 kg/t Zellstoff anstatt 1,5 kg/t Zellstoff lauten sollte. Des Weiteren sind CEPI und ein Mitgliedstaat der Auffassung, dass einige BVT-Wertbereiche für verschiedene Papiersorten zu eng gefasst sind. Demgegenüber gibt es einige TWG-Mitglieder, nach deren Ansicht bestimmte vereinbarte BVT-Werte viel zu großzügig festgelegt wurden, wenn man sich die Leistungen einiger Zellstoff- und Papieranlagen in jüngerer Zeit vor Augen hält.

Auch das Europäische Umweltbüro – als Vertreter von Umweltorganisationen – vertrat in einigen Punkten abweichende Meinungen. Dazu gehört die Auffassung, dass die ECF-Bleiche in Sulfatzellstoffanlagen nicht die BVT-Kriterien im Hinblick auf das Vorsorge- und Vermeidungsprinzip erfüllt und dass die dritte Reinigungsstufe bei Abwässern generell die Behandlung mit Ozon, Peroxid bzw. UV-Strahlung mit anschließender Biofiltration einschließen sollte.

VORWORT

1. Status des Dokuments

Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich alle Hinweise auf „die Richtlinie“ im vorliegenden Dokument auf die Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Dieses Dokument ist Teil einer Reihe, in der die Ergebnisse eines Informationsaustauschs zwischen den EU-Mitgliedstaaten und der betroffenen Industrie über beste verfügbare Techniken (BVT), die damit verbundenen Überwachungsmaßnahmen und die Entwicklungen auf diesem Gebiet vorgestellt werden. Es wird von der Europäischen Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie veröffentlicht und muss daher gemäß Anhang IV der Richtlinie bei der Festlegung der „besten verfügbaren Techniken” berücksichtigt werden.

2. In der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung verankerte rechtliche Pflichten und Definition der BVT

Um dem Leser das Verständnis des Rechtsrahmens für die Erarbeitung des vorliegenden Dokuments zu erleichtern, werden im Vorwort die wichtigsten Bestimmungen der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung beschrieben und eine Definition des Begriffs „beste verfügbare Techniken” gegeben. Diese Beschreibung muss zwangsläufig unvollständig sein und dient ausschließlich Informationszwecken. Sie hat keine rechtlichen Konsequenzen und ändert oder präjudiziert in keiner Weise die Bestimmungen der Richtlinie.

Die Richtlinie dient der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die durch die im Anhang I aufgeführten Tätigkeiten verursacht wird, damit insgesamt ein hohes Umweltschutzniveau erreicht wird. Die Rechtsgrundlage der Richtlinie bezieht sich auf den Umweltschutz. Bei ihrer Umsetzung sollten auch die anderen Ziele der Gemeinschaft wie die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie berücksichtigt werden, so dass sie zu einer nachhaltigen Entwicklung beiträgt.

Im Einzelnen sieht sie ein Genehmigungsverfahren für bestimmte Kategorien industrieller Anlagen vor und verlangt sowohl von den Betreibern als auch von den regelnden Behörden und sonstigen Einrichtungen ein integriertes, ganzheitliches Betrachten des Umweltverschmutzungs- und Verbrauchspotentials der Anlage. Das Gesamtziel dieses integrierten Konzepts muss darin bestehen, das Management und die Kontrolle der industriellen Prozesse so zu verbessern, dass ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt sichergestellt wird. Von zentraler Bedeutung für dieses Konzept ist das in Artikel 3 definierte allgemeine Prinzip, das die Betreiber auffordert, alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen zu treffen, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken, mit deren Hilfe sie ihre Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz verbessern können.

Der Begriff „beste verfügbare Techniken“ wird in Artikel 2 Absatz 11 der Richtlinie definiert als „der effizienteste und fortschrittlichste Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Techniken als praktisch erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Emissionsgrenzwerte zu dienen, um Emissionen in und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt allgemein zu vermeiden oder, wenn dies nicht möglich ist, zu vermindern.“ Weiter heißt es in der Begriffsbestimmung in Artikel 2 Absatz 11:

„Techniken“ beinhalten sowohl die angewandte Technologie als auch die Art und Weise, wie die Anlage geplant, gebaut, gewartet, betrieben und stillgelegt wird.

Als „verfügbar“ werden jene Techniken bezeichnet, die in einem Maßstab entwickelt sind, der unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses die Anwendung unter in dem betreffenden industriellen Sektor wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht, gleich, ob diese Techniken innerhalb des betreffenden Mitgliedstaats verwendet oder hergestellt werden, sofern sie zu vertretbaren Bedingungen für den Betreiber zugänglich sind.

Als „beste“ gelten jene Techniken, die am wirksamsten zur Erreichung eines allgemein hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt sind.

Anhang IV der Richtlinie enthält eine Liste von ,,Punkten, die bei Festlegung der besten verfügbaren Techniken im Allgemeinen wie auch im Einzelfall zu berücksichtigen sind ... unter Berücksichtigung der sich aus einer Maßnahme ergebenden Kosten und ihres Nutzens sowie des Grundsatzes der Vorsorge und Vermeidung“. Diese Punkte schließen jene Informationen ein, die von der Kommission gemäß Artikel 16 Absatz 2 veröffentlicht werden.

Die für die Erteilung von Genehmigungen zuständigen Behörden haben bei der Festlegung der Genehmigungsauflagen die in Artikel 3 definierten allgemeinen Prinzipien zu berücksichtigen. Diese Genehmigungsauflagen müssen Emissionsgrenzwerte enthalten, die gegebenenfalls durch äquivalente Parameter oder technische Maßnahmen ergänzt bzw. ersetzt werden. Entsprechend Artikel 9 Absatz 4 der Richtlinie sind diese Emissionsgrenzwerte, äquivalenten Parameter und technischen Maßnahmen unbeschadet der Einhaltung der Umweltqualitätsnormen auf die besten verfügbaren Techniken zu stützen, ohne dass die Anwendung einer bestimmten Technik oder Technologie vorgeschrieben wird; hierbei sind die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geografischer Standort und die jeweiligen örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. In jedem Fall haben die Genehmigungsauflagen Vorkehrungen zur weitestgehenden Verminderung weiträumiger oder grenzüberschreitender Umweltverschmutzungen vorzusehen und ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu sichern.

Gemäß Artikel 11 der Richtlinie haben die Mitgliedstaaten dafür zu sorgen, dass die zuständigen Behörden die Entwicklungen bei den besten verfügbaren Techniken verfolgen oder darüber informiert sind.

3. Zielsetzung des Dokuments

Entsprechend Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie hat die Kommission „einen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedstaaten und der betroffenen Industrie über die besten verfügbaren Techniken, die damit verbundenen Überwachungsmaßnahmen und die Entwicklungen auf diesem Gebiet“ durchzuführen und die Ergebnisse des Informationsaustausches zu veröffentlichen.

Der Zweck des Informationsaustausches ist unter Erwägung 25 der Richtlinie erläutert, in der es heißt: „Die Entwicklung und der Austausch von Informationen auf Gemeinschaftsebene über die besten verfügbaren Techniken werden dazu beitragen, das Ungleichgewicht auf technologischer Ebene in der Gemeinschaft auszugleichen, die weltweite Verbreitung der in der Gemeinschaft festgesetzten Grenzwerte und der angewandten Techniken zu fördern und die Mitgliedstaaten bei der wirksamen Durchführung dieser Richtlinien zu unterstützen.“

Zur Unterstützung der unter Artikel 16 Absatz 2 vorgesehenen Maßnahmen hat die Kommission (GD Umwelt) ein Informationsaustauschforum (IEF) geschaffen, und mehrere technische Arbeitsgruppen wurden unter der Schirmherrschaft des IEF eingesetzt. Im Informationsaustauschforum und in den technischen Arbeitsgruppen sind, wie im Artikel 16 Absatz 2 verlangt, sowohl die Mitgliedstaaten als auch die Industrie vertreten.

Ziel dieser Reihe von Dokumenten ist es, den stattgefundenen und unter Artikel 16 Absatz 2 geforderten Informationsaustausch genau wiederzugeben und der Genehmigungsbehörde Referenz-Informationen zur Verfügung zu stellen, die von dieser bei der Festlegung der Genehmigungsauflagen zu berücksichtigen sind. Mit ihren Informationen über die besten verfügbaren Techniken sollen diese Dokumente als wertvolle Instrumente zur Verbesserung des Umweltschutzes dienen.

4. Informationsquellen

Dieses Dokument enthält eine Zusammenfassung über Informationen, die aus verschiedenen Quellen, einschließlich insbesondere sachkundiger Angaben der zur Unterstützung der Tätigkeit der Kommission

geschaffenen Arbeitsgruppen, stammen und durch die Dienste der Kommission geprüft wurden. Für alle Beiträge wird anerkennend gedankt.

5. Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments

Die im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen sind als Unterstützung bei der Bestimmung der BVT in speziellen Fällen gedacht. Bei der Bestimmung der BVT und Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsauflagen ist stets vom Gesamtziel, das heißt, einem insgesamt hohen Umweltschutzniveau, auszugehen.

Der verbleibende Teil des vorliegenden Abschnitts beschreibt die Art der Information, die in den einzelnen Kapiteln des Dokuments enthalten ist.

Kapitel 1 gibt allgemeine Informationen über die Branche, und die jeweils ersten Abschnitte der Kapitel 2 bis 6 geben Informationen über die in der Branche angewandten industriellen Verfahren. Daten und Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten in bestehenden Anlagen werden in den jeweils zweiten Abschnitten der Kapitel 2 bis 6 dargelegt. Sie zeigen den Stand zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Dokuments.

In den jeweils dritten Abschnitten der Kapitel 2 bis 6 werden Verfahren zur Emissionsverminderung und andere Methoden eingehend beschrieben, die als die wichtigsten für die Bestimmung der BVT sowohl allgemein als auch bei der Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsauflagen betrachtet werden. Diese Information schließt die Verbrauchs- und Emissionswerte ein, die bei Einsatz des Verfahrens als erreichbar betrachtet werden, und Angaben zu den mit der jeweiligen Technik verbundenen Kosten und den medienübergreifenden Aspekten sowie zu ihrer Anwendbarkeit auf Anlagen, die der IVU-Genehmigung unterliegen, zum Beispiel neue, bestehende, große oder kleine Anlagen. Verfahren, die allgemein als veraltet gelten, finden keine Berücksichtigung.

In den jeweiligen Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken in den Kapiteln 2 bis 6 werden die Verfahren und Emissions- und Verbrauchswerte aufgeführt, die allgemein den Anforderungen an die besten verfügbaren Techniken entsprechen. Dabei geht es darum, allgemeine Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten bereitzustellen, die bei der Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsauflagen oder allgemein bindender Vorschriften gemäß Artikel 9 Absatz 8 als geeignete Referenz gelten können. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass es sich in diesem Dokument nicht um Vorschläge für Emissionsgrenzwerte handelt. Bei der Festlegung der jeweiligen Genehmigungsauflagen sind lokale standortspezifische Faktoren wie die technische Beschaffenheit der betreffenden Anlage, ihr geografischer Standort und die örtlichen Umweltbedingungen zu berücksichtigen. Ferner ist bei bestehenden Anlagen die wirtschaftliche und technische Vertretbarkeit möglicher Modernisierungen zu beachten. Allein die Zielsetzung der Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus insgesamt fordert nicht selten ein Abwägen der einzelnen Auswirkungen auf die Umwelt, und diese Abwägungen sind oftmals von lokalen Erwägungen beeinflusst.

Obgleich im vorliegenden Dokument der Versuch unternommen wurde, einige dieser Aspekte aufzugreifen, ist eine umfassende Behandlung in diesem Rahmen nicht möglich. Somit sind die in den jeweiligen Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken der Kapitel 2 bis 6 aufgeführten Verfahren und Zahlenwerte nicht notwendigerweise auf alle Anlagen anwendbar. Andererseits verlangt die Pflicht zur Sicherung eines hohen Umweltschutzniveaus einschließlich der weitestgehenden Verminderung der weiträumigen oder grenzüberschreitenden Umweltverschmutzung, dass Genehmigungsauflagen nicht aus rein lokalen Erwägungen festgesetzt werden. Somit ist die vollständige Berücksichtigung der im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen durch die Genehmigungsbehörden von größter Bedeutung.

Da sich die besten verfügbaren Techniken mit der Zeit ändern, wird dieses Dokument ggf. überprüft und aktualisiert. Stellungnahmen und Vorschläge sind an das Europäische IVU-Büro beim Institute for Prospective Technological Studies mit folgender Anschrift zu senden:

World Trade Center, Isla de la Cartuja s/n, E-41092 Sevilla – Spanien
Telefon: +34 95 4488 284 Fax: +34 95 4488 426
E-Mail: eippcb@jrc.es
Internet: http://eippcb.jrc.es

Beste erfügbare Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie

EXECUTIVE SUMMARY I

PREFACE XVII

SCOPE XXXVII

1 GENERAL INFORMATION 1

1.1 Paper consumption in Europe 1
1.2 The European Pulp Industry 2
1.3 Geographical Distribution of the European Paper Industry 5
1.4 Economic situation 8
1.5 Environmental issues of the pulp and paper industry 9
1.6 Overview of pulp and paper manufacturing 10
1.7 Classification of pulp and paper mills 11
1.8 Presentation of BAT 15

2 THE KRAFT (SULPHATE) PULPING PROCESS 17

2.1 Applied Processes and Techniques 18
2.1.1 Reception and storage of wood 18
2.1.2 Debarking 19
2.1.3 Wood Chipping and Screening 19
2.1.4 Cooking and delignification 19
2.1.5 Washing and screening 20
2.1.6 Oxygen delignification 21
2.1.7 Bleaching 22
2.1.8 Bleached Stock Screening 25
2.1.9 Drying 25
2.1.10 Chemical and Energy Recovery System 25
2.1.11 Preparation of Bleaching Chemicals on site 27
2.1.11.1 Chlorine dioxide 27
2.1.11.2 Ozone 28
2.1.11.3 Other bleaching chemicals 29
2.2 Present Consumption/Emission Level for Integrated and Non-Integrated Mills .. 30
2.2.1 Overview of input/output 30
2.2.2 Consumption and emission levels arising from process units 31
2.2.2.1 Wood consumption 31
2.2.2.2 Water consumption and waste from different proccess steps 32
2.2.2.3 Emissions to the atmosphere 39
2.2.2.4 Solid waste generation 48
2.2.2.5 Consumption of chemicals 50
2.2.2.6 Use of Energy 52
2.2.2.7 Noise (local) 57
2.2.2.8 Emission to soil and groundwater 57
2.3 Techniques to consider in the determination of BAT 58

ZUSAMMENFASSUNG I

VORWORT XVII

UMFANG XXXVII

1 ALLGEMEINE INFORMATIONEN 1

1.1 Papierverbrauch in Europa 1
1.2 Die europäische Zellstoffindustrie 2
1.3 Geographische Verteilung der eurpäischen Zellstoffindustrie 5
1.4 Wirtschaftliche Lage 8
1.5 Umweltprobleme der Zellstoff- und Papierindustrie 9
1.6 Überblick über die Zellstoff- und Papierherstellung 10
1.7 Klassifizierung der Zellstoff- und Papierfabriken 11
1.8 Darstellung der BVT 15

2 DAS SULFATAUFSCHLUSS-VERFAHREN 17

2.1 Angewandte Verfahren und Techniken 18
2.1.1 Holzanlieferung und -lagerung 18
2.1.2 Entrindung 19
2.1.3 Häckseln des Holzes und Sortieren 19
2.1.4 Kochen und Delignifizierung 19
2.1.5 Waschen und Sortieren 20
2.1.6 Delignifizierung mit Sauerstoff 21
2.1.7 Bleichen 22
2.1.8 Sortieren von gebleichtem Faserstoff 25
2.1.9 Trocknen 25
2.1.10 System zur Rückgewinnung von Chemikalien und Energie 25
2.1.11 Zubereitung von Bleichchemikalien vor Ort 27
2.1.11.1 Chlordioxid 27
2.1.11.2 Ozon 28
2.1.11.3 Weitere Bleichchemikalien 29
2.2 Gegenw. Verbrauchs-/Emissionsniveau von integrierten und nicht integr. Fabriken ... 30
2.2.1 Input/Output-Übersicht 30
2.2.2 Verbrauchs- und Emissionsniveau von/aus Teilprozessen 31
2.2.2.1 Holzverbrauch 31
2.2.2.2 Wasserverbrauch und Abfallanfall in verschiedenen Prozessstufen 32
2.2.2.3 Abgasemissionen 39
2.2.2.4 Anfall von festem Abfall 48
2.2.2.5 Chemikalienverbrauch 50
2.2.2.6 Energieeinsatz 52
2.2.2.7 Lärm (örtlich) 57
2.2.2.8 Boden- und Grundwasserbelastung 57
2.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden 58

2.3.1 Dry debarking 61
2.3.2 Extended modified cooking (batch or continuous) to a low kappa 62
2.3.3 Closed screening 65
2.3.4 Oxygen delignification..... 66
2.3.5 Ozone bleaching..... 68
2.3.6 ECF bleaching technique 69
2.3.7 TCF bleaching technique 71
2.3.8 Partial closure of the bleach plant 74
2.3.9 Collection of almost all spillages 76
2.3.10 Efficient washing and process control 78
2.3.11 Stripping of the most concentrated contaminated condensates and re-use of most condensates in the process 79
2.3.12 Use of sufficiently large buffer tanks for storage of concentrated or hot liquids from the process 81
2.3.13 Secondary or Biological Treatment - Aerobic Methods 83
2.3.14 Tertiary treatment of wastewater with chemical precipitation 87
2.3.15 Increase in the dry solids content of black liquor 87
2.3.16 Installation of scrubbers on the recovery boiler 89
2.3.17 Collection of weak gases for incineration in recovery boiler 90
2.3.18 Collection and incineration of odorous gases (strong and weak gases) in the lime kiln 91
2.3.19 Collection and incineration of odorous gases (strong and weak gases) by use of a separate furnace equipped with scrubbers for SO_2 93
2.3.20 Installation of low NOx technology in auxiliary boilers (bark, oil, coal) and the lime kiln 93
2.3.21 SNCR on bark boilers 95
2.3.22 Over Fire Air Technique (OFA) on recovery boilers 96
2.3.23 Installation of improved washing of lime mud in recausticizing 97

2.3.1 Trockenentrindung 61
2.3.2 Verlängertes und modifiziertes Kochen (diskonti. und konti.) auf niedrige Kappa-Zahl 62
2.3.3 Sortieren im geschlossenen Kreislauf .. 65
2.3.4 Delignifizierung mit Sauerstoff 66
2.3.5 Bleichen mit Ozon 68
2.3.6 Technik des elementarchlorfreien Bleichens (ECF-Bleiche) 69
2.3.7 Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche) 71
2.3.8 Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage 74
2.3.9 Sammlung nahezu aller Leckagewasser 76
2.3.10 Effizientes Waschen und Prozesskontrolle 78
2.3.11 Strippung der am stärksten belasteten Kondensate und Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess 79
2.3.12 Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen 81
2.3.13 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren 83
2.3.14 Dritte Stufe zur Abwasserbehandlung mittels chemischer Fällung 87
2.3.15 Erhöhung des Feststoffgehalts der Schwarzlauge 87
2.3.16 Einbau von Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel 89
2.3.17 Erfassung von niedrig belasteten Gasen zur Verbrennung im Laugen-Rückgewinnungskessel 90
2.3.18 Erfassung und Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen (stark und schwach belastete Gase) im Kalkofen.. 91
2.3.19 Erfassung und Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen (stark und schwach belastete Gase) in einem separaten Ofen, der mit SO_2-Wäschern ausgerüstet ist 93
2.3.20 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen in Hilfskesseln (Rinde, Öl, Kohle) und im Kalkofen.... 93
2.3.21 Einsatz der Technik der selektiven nicht-katalytischen Reduktion bei Rindenkesseln 95
2.3.22 Technik der Luftzuführung über der Flammenzone für Laugen-Rückgewinnungskessel 96
2.3.23 Einbau einer verbesserten Kalkschlammwäsche bei der Kaustifizierung 97

2.3.24 Electrostatic precipitator for dust reduction in bark boiler and lime kiln 97a
2.4 Best Available Techniques..... 98
2.4.1 Introduction 98
2.4.2 BAT for kraft pulp and paper mills 99
2.5 Emerging Techniques 113
2.5.1 Gasification of Black Liquor 113
2.5.2 Use of SNCR on the recovery boiler 115
2.5.3 Removal of chelating agents by modest alkaline biological treatment or by use of kidneys 117
2.5.4 Increased system closure combined with the use of kidneys 119
2.5.5 Organosolv pulping 121
3 THE SULPHITE PULPING PROCESS..... 123
3.1 Applied processes and techniques..... 124
3.1.1 Woodhandling..... 125
3.1.2 Cooking and delignification of unbleached pulp..... 125
3.1.3 Screening and washing of unbleached pulp..... 125
3.1.4 Oxygen delignification/bleaching 125
3.1.5 Bleaching, screening and drying 126
3.1.6 Chemicals and Energy Recovery System..... 127
3.1.7 Magnefite process 128
3.1.8 Neutral Sulphite Semi-Chemical Pulp..... 129
3.1.9 Dissolving Sulphite Pulp 129
3.2 Present Consumption/Emission Level 131
3.2.1 Overview of input/ouput 131
3.2.2 Consumption and emission levels arising from process units..... 132
3.2.2.1 Wood consumption..... 133
3.2.2.2 Water consumption and emissions.... 133
3.2.2.3 Consumption of chemicals 136
3.2.2.4 Emissions to the atmosphere..... 137
3.2.2.5 Solid waste generation..... 138
3.3 Techniques to consider in the determination of BAT 97a
3.3.1 Extended cooking to a low kappa 98
3.3.2 Oxygen delignification 98
3.3.3 TCF bleaching 99
3.3.4 Partial closure of the bleach plant 97a

2.3.24 Elektrofilter für die Reduktion von Staubemissionen beim Rindenkessel und Kalkofen 97a
2.4 Beste verfügbare Techniken..... 98
2.4.1 Einleitung..... 98
2.4.2 BVT für Sulfatzellstoff- und Papierfabriken..... 99
2.5 In der Entwicklung befindliche Techniken ... 113
2.5.1 Vergasung der Schwarzlauge 113
2.5.2 Einsatz von SNCR für den Laugen-Rückgewinnungskessel 115
2.5.3 Entfernung von Komplexbildnern durch geeignete alkalische biologische Behandlung oder durch Einsatz von “Nieren” 117
2.5.4 Verstärkte Kreislaufschließung in Verbindung mit dem Einsatz von “Nieren”... 119
2.5.5 Organosolvaufschluss..... 121
3 DAS SULFITAUFSCHLUSSVERFAHREN.. 123
3.1 Angewandte Verfahren und Techniken..... 124
3.1.1 Holzaufbereitung..... 125
3.1.2 Kochen und Delignifierung von ungebleichtem Zellstoff..... 125
3.1.3 Sortieren und Waschen von ungebleichtem Zellstoff..... 125
3.1.4 Delignifizierung/Bleichen mit Sauerstoff 125
3.1.5 Bleichen, Sortieren und Trocknen..... 126
3.1.6 System zur Rückgwinnung von Chemikalien und Energie 127
3.1.7 Magnefitverfahren..... 128
3.1.8 Neutraler Halbsulfitzellstoff 129
3.1.9 Chemiesulfitzellstoff 129
3.2 Gegenwärtiges Verbrauchs-/Emissionsniveau..... 131
3.2.1 Input/Output-Übersicht 131
3.2.2 Verbrauchs- und Emissionsniveaus von/aus Teilprozessen 132
3.2.2.1 Holzverbrauch 133
3.2.2.2 Wasserverbrauch und Abwasseranfall.. 133
3.2.2.3 Chemikalienverbrauch..... 136
3.2.2.4 Abgasemissionen..... 137
3.2.2.5 Anfall von festem Abfall 138
3.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden 97a
3.3.1 Verlängertes Kochen hin zu niedriger Kappa-Zahl 98
3.3.2 Delignifizierung mit Sauerstoff 98
3.3.3 Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche) 99
3.3.4 Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage 97a

3.3.5 Pre-treatment of wastewater from the oxygen stages in an ultrafiltration plant followed by aerobic treatment of the total effluent 144
3.3.6 Anaerobic pre-treatment of the condensate followed by aerobic treatment of the total effluent 145
3.3.7 Biological wastewater treatment 146
3.3.8 Installation of ESP and multi-stage scrubbers on the recovery boiler - chemical recovery and abatement of air emissions 149
3.3.9 Reduction of odorous gases 152
3.3.10 Emission optimised recovery boiler by controlling the firing conditions 152
3.3.11 Measures to prevent uncontrolled development of normal operation and to reduce the consequences of accidents 152
3.4 Best Available Techniques 153
3.4.1 Introduction 153
3.4.2 BAT for sulphite pulp and paper mills 154
3.5 Emerging Techniques 162

4 MECHANICAL PULPING AND CHEMI-MECHANICAL PULPING 163

4.1 Applied Processes and Techniques 164
4.1.1 Groundwood Pulping 164
4.1.1.1 Wood Handling 164
4.1.1.2 Grinding 165
4.1.1.3 Screening and Cleaning 165
4.1.2 Refiner Mechanical Pulps 166
4.1.2.1 Thermomechanical Pulping (TMP) 167
4.1.2.2 Chemi-mechanical Pulping 168
4.1.3 Bleaching of Mechanical Pulps 170
4.2 Present Consumption/Emission Levels 172
4.2.1 Overview of input/output 172
4.2.2 Consumption and emission levels arising from process units 175
4.2.2.1 Wood consumption 176
4.2.2.2 Water use 176
4.2.2.3 Wastewater emissions 177
4.2.2.4 Emissions to the atmosphere 179
4.2.2.5 Solid waste generation 181
4.2.2.6 Consumption of chemicals 181
4.2.2.7 Energy use 182
4.2.2.8 Noise (local) 185

3.3.5 Vorbehandlung des Abwassers aus den Sauerstoffstufen in einer Ultrafiltrationsanlage mit anschließender aerober Behandlung des Gesamtabwassers 144
3.3.6 Anaerobe Kondensatvorbehandlung mit anschließender aerober Behandlung des Gesamtabwassers 145
3.3.7 Biologische Abwasserbehandlung 146
3.3.8 Einsatz eines Elektrofilters und von mehrstufigen Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel – Rückgewinnung von Chemikalien und Verminderung der Abgasemissionen 149
3.3.9 Verminderung von geruchsbelasteten Gasen 152
3.3.10 Emissionsoptimierter Laugen-Rückgewinnungskessel durch Regelung der Feuerungsbedingungen 152
3.3.11 Maßnahmen zur Vermeidung von unkontrollierten Abweichungen vom Normalbetrieb und zur Verminderung der Folgen von Betriebsstörungen 152
3.4 Beste verfügbare Techniken 153
3.4.1 Einleitung 153
3.4.2 BVT für Sulfitzellstoff- und Papierfabriken 154
3.5 In der Entwicklung befindliche Techniken 162

4 MECHANISCHER UND CHEMISCH-MECHANISCHER AUFSCHLUSS 163

4.1 Angewandte Verfahren und Techniken 164
4.1.1 Holzschliffaufschluss 164
4.1.1.1 Holzaufbereitung 164
4.1.1.2 Schleifen 165
4.1.1.3 Sortieren und Reinigen 165
4.1.2 Refiner-Holzstoffe 166
4.1.2.1 Thermomechanischer Aufschluss (TMP) 167
4.1.2.2 Chemisch-mechanischer Aufschluss 168
4.1.3 Bleichen von Holzstoff 170
4.2 Gegenwärtige Verbrauchs-/Emissionsniveaus 172
4.2.1 Input/Output-Übersicht 172
4.2.2 Verbrauchs- und Emissionsniveaus von/aus Teilprozessen 175
4.2.2.1 Holzverbrauch 176
4.2.2.2 Wassereinsatz 176
4.2.2.3 Abwasseremissionen 177
4.2.2.4 Abgasemissionen 179
4.2.2.5 Anfall von festem Abfall 181
4.2.2.6 Chemikalienverbrauch 181
4.2.2.7 Energieeinsatz 182
4.2.2.8 Lärm (örtlich) 185

4.3 Techniques to consider in the determination of BAT 186
4.3.1 Emission control from the wood yard 188
4.3.2 Dry debarking..... 189
4.3.3 Minimisation of reject losses by using efficient reject handling stages 189
4.3.4 Minimisation of disposal of rejects to landfill by incineration with energy recovery 190
4.3.5 Efficient washing and process control 192
4.3.6 Water recirculation in pulp and paper mill 192
4.3.7 CTMP mill effluent treatment. Closing up the water circuits by use of evaporation and burning the concentrates..... 195
4.3.8 Application of Co-generation of Heat and Power (CHP)..... 199
4.3.9 Heat recovery from refiners 199
4.3.10 Abatement of VOC emissions from steam releases 200
4.3.11 Emission optimised incineration of solid waste and energy recovery 200
4.3.12 Use of sufficiently large buffer tanks for storage of concentrated or hot liquids from the process 203
4.3.13 Secondary or Biological Treatment - Aerobic Methods 204a
4.3.14 Tertiary treatment of wastewater 204b
4.4 Best Available Techniques..... 205
4.4.1 Introduction 205
4.4.2 BAT for mechanical and chemi-mechanical pulp and paper mills 206
4.5 Emerging Techniques 216
4.5.1 Use of new evaporation techniques as “kidney” for internal cleaning of process water..... 216
4.5.2 New energy efficient TMP processes ... 217

5 RECOVERED PAPER PROCESSING..... 218

5.1 Applied Processes and Techniques 218
5.1.1 Examples of Recovered Paper Processing Systems 222
5.1.1.1 Packaging Paper and Boards..... 222

4.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden 186
4.3.1 Minderung der Emissionen vom Holzplatz 188
4.3.2 Trockenentrindung 189
4.3.3 Weitestgehende Minimierung der Rejektverluste durch Einsatz leistungsfähiger Anlagen zur Rejektbehandlung 189
4.3.4 Weitgehende Minimierung der Deponierung von Rejekten durch Verbrennung mit Energierückgewinnung 190
4.3.5 Effizientes Waschen und Prozesskontrolle 192
4.3.6 Wasserkreislaufführung in der Holzstoff- und Papierfabrik..... 192
4.3.7 Behandlung des Abwassers aus CTMP-Anlagen. Eindampfung und Verbrennung der Konzentrate und Schließung der Wasserkreisläufe..... 195
4.3.8 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)..... 199
4.3.9 Wärmerückgewinnung von den Refinern..... 199
4.3.10 Verminderung der VOC-Emissionen durch Freisetzung von Dampf in die Atmosphäre..... 200
4.3.11 Emissionsoptimierte Verbrennung von festem Abfall mit Energie-rückgewinnung 200
4.3.12 Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten und heißen Prozessteilströmen..... 203
4.3.13 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren 204a
4.3.14 Dritte Stufe zur Abwasser-behandlung..... 204b
4.4 Beste verfügbare Techniken..... 205
4.4.1 Einleitung..... 205
4.4.2 BVT für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und CTMP-Holzstoff 206
4.5 In der Entwicklung befindliche Techniken ... 216
4.5.1 Einsatz von neuen Verdampfungstech-niken als “Nieren” für die interne Reinigung von Prozesswasser 216
4.5.2 Neue energieeffiziente TMP-Verfahren .. 217

5 ALTPAPIERAUFBEREITUNGNG..... 218

5.1 Angewandte Verfahren und Techniken..... 218
5.1.1 Beispiele für Systeme für die Altpapieraufbereitung..... 222
5.1.1.1 Packpapier und Kartons..... 222

5.1.1.2 Newsprint and Simple Writing and Printing Paper 223
5.1.1.3 LWC/SC-Paper 225
5.1.1.4 Tissue Paper and Market Pulp..... 225
5.2 Present Consumption/Emission Levels of RCF Based Paper Mills 228
5.2.1 Overview of input/output 228
5.2.2 Consumption and emission levels arising from process units 235
5.2.2.1 Recovered paper consumption 236
5.2.2.2 Water use 236
5.2.2.3 Use of additives 239
5.2.2.4 Energy demand..... 241
5.2.2.5 Wastewater emissions 245
5.2.2.6 Solid waste generation 248
5.2.2.7 Emissions to the atmosphere 251
5.2.2.8 Noise from paper machines (local).... 253
5.3 Techniques to consider in the determination of BAT..... 254
5.3.1 Separation of less contaminated water from contaminated one and recycling of this process waters 256
5.3.2 Optimal Water Management (water loop arrangement) and water clarification 259
5.3.3 Reduction of fresh water consumption by strict separation of water loops together with counter-current flows (water loop closure) 262
5.3.4 Closed Water Loops with In-line Biological Process Water Treatment 265
5.3.5 Anaerobic Techniques as First Stage of Biological Wastewater Treatment 269
5.3.6 Aerobic biological treatment 272
5.3.7 Upgrading of stock preparation plants with decreased electricity consumption and emissions 274
5.3.8 Generation of clarified water from recovered paper processing with de-inking 280a
5.3.9 Cogeneration of Heat and Power (CHP) 281
5.3.10 Reject and sludge handling and processing (de-watering) on-site 284
5.3.11 Environmental sound residue utilisation and disposal..... 286
5.4 Best Available Techniques 293
5.4.1 Introduction..... 293
5.4.2 BAT for recovered paper processing paper mills..... 294

5.1.1.2 Zeitungsdruck- und einfaches Schreib- und Druckpapier 223
5.1.1.3 LWC/SC-Papier 225
5.1.1.4 Tissuepapiere und Marktzellstoff..... 225
5.2 Gegenwärtige Verbrauchs-/Emissionsniveaus für Papierfabriken auf Basis von Altpapier..... 228
5.2.1 Input/Output-Übersicht..... 228
5.2.2 Verbrauchs- und Emissionsniveaus von/aus Teilprozessen..... 235
5.2.2.1 Altpapierverbrauch..... 236
5.2.2.2 Wassereinsatz..... 236
5.2.2.3 Einsatz von Additiven..... 239
5.2.2.4 Energiebedarf..... 241
5.2.2.5 Abwasseremissionen..... 245
5.2.2.6 Anfall von festem Abfall..... 248
5.2.2.7 Abgasemissionen..... 251
5.2.2.8 Lärm von Papiermaschinen (örtlich).... 253
5.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden..... 254
5.3.1 Trennung des weniger verunreinigten vom verunreinigten Wasser und Rückführung dieses Prozesswassers.... 256
5.3.2 Optimales Wassermanagement (Wasserkreislaufführung) und Wasserreinigung 259
5.3.3 Reduzierung des Frischwasserverbrauchs durch konsequente Trennung der Wasserkreislaufsysteme und Anwendung des Gegenstromprinzips (Wasserkreislaufeinengung)..... 262
5.3.4 Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter biologischer Behandlung des Prozesswassers 265
5.3.5 Anaerobe Techniken als erste Stufe der biologischen Abwasserbehandlung 269
5.3.6 Aerobe biologische Abwasserbehandlung 272
5.3.7 Modernisierung der Faserstoffaufbereitungsanlagen mit verringertem Stromverbrauch und verringerten Emissionen..... 274
5.3.8 Bereitstellung von gereinigtem Wasser aus der Altpapieraufbereitung mit Deinking 280a
5.3.9 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) 281
5.3.10 Aufbereitung und Verarbeitung der Rejekte und Schlämme vor Ort (Entwässerung)..... 284
5.3.11 Umweltgerechte Verwertung und Entsorgung der Rückstände 286
5.4 Beste verfügbare Techniken 293
5.4.1 Einleitung..... 293
5.4.2 BVT für Altpapier verarbeitende Papierfabriken..... 294

5.5 Emerging Techniques 305
5.5.1 Advanced effluent treatment with a combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors 305
5.5.2 Membrane bioreactor for end-of-pipe or (partly) in-line treatment 306
5.5.3 Recovery of boiler ash and carbon dioxide gas to produce recycled mineral fillers for use in paper. 307
5.5.4 "Kidney" treatment - Techniques for further circuit water cleaning..... 309
5.5.5 The Continuous Batch Fibre Recovery System to processing recovered paper in a complete system 310

6 PAPERMAKING AND RELATED PROCESSES 312

6.1 Applied Processes and Techniques 313
6.1.1 Stock Preparation 313
6.1.2 Paper Machine 313
6.1.3 Water circuits and fibre recovery 316
6.1.4 Broke system 318
6.1.5 Sizing (optional) 319
6.1.6 Coating (optional) 320
6.1.7 Dyeing of paper (optional) 321
6.1.8 Addition of chemicals 322
6.1.9 Calendering (optional) 322
6.1.10 Reeling / cutting / despatch 323
6.1.11 Examples of non-integrated paper mills in Europe 324
6.1.11.1 Uncoated woodfree printing and writing papers 324
6.1.11.2 Coated woodfree printing and writing paper 324
6.1.11.3 Tissue paper 325
6.1.11.4 Speciality paper 325
6.2 Present Consumption and Emission Levels of Paper Mills 327
6.2.1 Overview of input/output 327
6.2.2 Consumption and emission levels 329
6.2.2.1 Consumption of major raw material 330
6.2.2.2 Water use 330
6.2.2.3 Use of additives 333
6.2.2.4 Energy demand 336
6.2.2.5 Wastewater emissions 343
6.2.2.6 Solid waste generation 345
6.2.2.7 Atmospheric emissions 347
6.2.2.8 Noise from paper machines (local) 349
6.3 Techniques to consider in the determination of BAT 351
6.3.1 Water management and minimising water usage for different paper grades 353
6.3.2 Control of potential disadvantage of closing up the water systems 356

5.5 In der Entwicklung befindliche Techniken 305
5.5.1 Fortschrittliche Abwasserbehandlung mit einem kombinierten Verfahren aus Ozonung und Festbett-Biofilmreaktor 305
5.5.2 Membran-Bioreaktor für die end-of-pipe- oder für die (teilweise) integrierte Behandlung 306
5.5.3 Rückgewinnung der Kesselasche und von Kohlendioxidgas zur Herstellung von rezyklierten mineralischen Füllstoffen für die Papierproduktion 307
5.5.4 “Nieren”-Behandlung – Techniken für die weitergehende Kreislaufwas.reinig. 309
5.5.5 Das kontinuierliche diskontinuierliche. Faserrückgewinnungssystem für die Altpapieraufbreitung in einem vollständigen System 310

6 PAPIERHERSTELLUNG UND DAMIT VERBUNDENE PROZESSE 312

6.1 Angewandte Verfahren und Techniken 313
6.1.1 Stoffaufbreitung 313
6.1.2 Papiermaschine 313
6.1.3 Wasserkreisläufe und Faserrückgewin. 316
6.1.4 Ausschuss-System 318
6.1.5 Leimen (optional) 319
6.1.6 Streichen (optinoal) 320
6.1.7 Färben von Papier (optional) 321
6.1.8 Zugabe von Chemikalien 322
6.1.9 Kalandrierung (optional) 322
6.1.10 Aufrollen / schneiden / Versand 323
6.1.11 Beispiele für nicht integrierte Papier-fabriken in Europa 324
6.1.11.1 Ungestrichene holzfreie Druck- und Schreibpapiere 324
6.1.11.2 Gestrichene holzfreie Druck- und Schreibpapiere 324
6.1.11.3 Tissuepapiere 325
6.1.11.4 Spezialpapier 325
6.2 Gegenwärtige Verbrauchs- und Emissionsniveaus von Papierfabriken 327
6.2.1 Input/Output-Übersicht 327
6.2.2 Verbrauchs- und Emissionsniveaus 329
6.2.2.1 Verbrauch der wichtigsten Rohstoffe 330
6.2.2.2 Wassereinsatz 330
6.2.2.3 Einsatz von Additiven 333
6.2.2.4 Energiebedarf 336
6.2.2.5 Abwasseremissionen 343
6.2.2.6 Anfall von festem Abfall 345
6.2.2.7 Abgasemissionen 347
6.2.2.8 Lärm von Papiermaschinen (örtlich) 349
6.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden 351
6.3.1 Wassermanagement und Minimierung des Wassereinsatzes für verschiedene Papiersorten 353
6.3.2 Kontrolle der möglichen Nachteile einer Wasserkreislaufeinengung 356

6.3.3 Internal treatment of white water by use of membrane filtration and recycling of treated process water 357
6.3.4 Reduction of fibre and filler losses 362
6.3.5 Recovery and recycling of coating-colour-containing effluent 364
6.3.6 Separate Pre-treatment of Coating Wastewaters 366a
6.3.7 Measures to reduce the frequency and effects of accidental discharges 367
6.3.8 Measurement and automation 369
6.3.9 Installation of an equalisation basin and primary treatment of wastewater..... 370
6.3.10 Secondary or Biological Treatment - Aerobic Methods 371
6.3.11 Chemical precipitation of wastewater from paper mills..... 376
6.3.12 Substitution of potentially harmful substances by use of less harmful alternatives 378
6.3.13 Pre-treatment of sludge (de-watering) before final disposal or incineration 380
6.3.14 Options for waste treatment 382
6.3.15 Installation of low NOx technology in auxiliary boilers (oil, gas, coal) 388
6.3.16 Use of combined heat and power generation..... 390
6.3.17 Optimisation of de-watering in the press section of the paper machine (Wide nip press)..... 390
6.3.18 Energy savings through energy efficient technologies 393
6.3.19 Measures for noise reduction 398
6.4 Best Available Techniques 402
6.4.1 Introduction..... 402
6.4.2 BAT for paper mills 404
6.4.3 BAT for special paper mills 413a
6.5 Emerging Techniques..... 414
6.5.1 Minimum effluent paper mills - optimised design of water loops and advanced wastewater treatment technologies..... 414
6.5.2 Impulse technology for dewatering of Paper 416
6.5.3 Condebelt process 417
6.5.4 Internal Heat Pumps..... 418
6.5.5 Total site integration tools 419

7 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS..... 421

6.3.3 Integrierte Behandlung von Kreis-aufwasser mittels Membranfiltration und Rückführung des behandelten Prozesswassers..... 357
6.3.4 Reduzierung der Faser- und Füll-stoffverluste 362
6.3.5 Rückgewinnung und Rückführung von mit Streichfarbe belastetem Abwasser..... 364
6.3.6 Separate Vorbehandlung der Streicherabwässer 366a
6.3.7 Maßnahmen zur Senkung der Häufigkeit und der Auswirkungen von unbeabsichtigten Einleitungen..... 367
6.3.8 Messtechnik und Automation 369
6.3.9 Einbau eines Ausgleichbeckens und primäre Abwasserbehandlung..... 370
6.3.10 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren..... 371
6.3.11 Chemische Fällung des Abwassers aus Papierfabriken..... 376
6.3.12 Ersatz potenziell schädlicher Stoffe durch weniger schädliche Alternativen..... 378
6.3.13 Vorbehandlung des Schlammes (Entwässerung) für die endgültige Entsorgung oder Verbrennung..... 380
6.3.14 Optionen für die Abfallbehandlung 382
6.3.15 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen in Hilfskesseln (Öl, Gas, Kohle) 388
6.3.16 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung 390
6.3.17 Optimierung der Entwässerung in der Pressenpartie der Papier-maschine (Schuhpresse)..... 390
6.3.18 Energieeinsparung durch energiesparende Technologien..... 393
6.3.19 Maßnahmen zur Lärmreduzierung..... 398
6.4 Beste verfügbare Techniken 402
6.4.1 Einleitung..... 402
6.4.2 BVT für Papierfabriken 404
6.4.3 BVT für Spezialpapierfabriken 413a
6.5 In der Entwicklung befindliche Techniken... 414
6.5.1 Papierfabrikem mit minimalem Abwas-seranfall – optimierte Auslegung der Wasserkreisläufe und fortschrittliche Abwasserbehandlungstechnologien 414
6.5.2 Impuls-Technologie für die Papier-trocknung 416
6.5.3 Condebelt-Verfahren..... 417
6.5.4 Interne Wärmepumpen..... 418
6.5.5 Ansätze für das integrale Management für einen ganzen Standort 419

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN..... 421

REFERENCES **427**

GLOSSARY OF TERMS AND ABBREVIATIONS **440**

ANNEX I **CHEMICALS AND ADDITIVES IN PAPER MANUFACTURING** **444**

ANNEX II **EXISTING NATIONAL AND INTERNATIONAL LEGISLATION AND AGREEMENTS** **452**

ANNEX III **MONITORING OF DISCHARGES AND EMISSIONS IN EUROPEAN PULP AND PAPER MILLS** **461**

ANNEX IV **EXAMPLES FOR VARIATIONS OF EMISSIONS** **469**

LITERATUR 427

GLOSSAR DER BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN 440

ANHANG I CHEMIKALIEN UND ADDITIVE FÜR DIE PAPIERHERSTELLUNG 444

ANHANG II BESTEHENDE NATIONALE UND INTERNATIONALE GESETZGEBUNG UND VEREINBARUNGEN 452

ANHANG III ÜBERWACHUNG VON ABWASSEREINLEITUNGEN UND ABGASEMISSIONEN IN EUROPÄIS: ZELLSTOFF- UND PAPIERFABRIKEN 461

ANHANG IV BEISPIELE FÜR DIE SCHWANKUNGEN VON EMISSIONEN 469

List of Figures

Figure 1.1: An overview of the industry distribution across Europe for pulp production 3
Figure 1.2: An overview of the mill size distribution across Europe for pulp production 4
Figure 1.3: Recovered paper utilisation in Europe 1996 5
Figure 1.4: An overview of the industry distribution across Europe for paper production 6
Figure 1.5: An overview of the mill size distribution across Europe for paper production 7
Figure 1.6: Capacities versus amount of mills in Europe 12
Figure 1.7: Classification of pulp and paper mills proposed by this document including cross-references to the relevant chapters for those mills 13
Figure 2.1 Overview of the processes of a kraft pulp mill 18
Figure 2.2: Continuous digester 20
Figure 2.3 Recovery cycles of chemicals for a kraft mill 26
Figure 2.4: Mass stream overview of a kraft pulp mill. 30
Figure 2.5: Emissions to water from a kraft pulp mill 32
Figure 2.6: Emissions to the atmosphere from kraft pulp mills 39
Figure 2.7: Some conceptual chemical reactions in a recovery boiler 41
Figure 2.8: Kappa trends in Finnish kraft pulp mills 63
Figure 2.9: One stage oxygen delignification 66
Figure 2.10: Two-stage oxygen delignification 67
Figure 2.11: Principle of a possible water system in closed up bleach plants 74
Figure 2.12: Flue gas scrubber for recovery boilers 89
Figure 2.13: The Chemrec process with a gasifier and a quench dissolver for green liquor production and with a weak liquor gas scrubber for hydrogen sulphide absorption 113
Figure 2.14: Integrated gasification with combined cycle (IGCC) 114
Figure 2.15: Combined cycle for power production by means of gas turbine and steam turbine with condensing tail 114
Figure 2.16: Recovery of chelating agents in bleach plant filtrates by use of a kidney 118
Figure 2.17: Kidneys under development in a current EU-project on separation methods for closed loop technology in bleached kraft pulp production 119
Figure 3.1: Main unit processes of manufacturing of magnesium sulphite pulp 124
Figure 3.2: Recovery cycles for a sulphite mill 128
Figure 3.3: Mass stream overview of a sulphite pulp mill 131
Figure 3.4: Main emissions to water and air from sulphite pulping 134
Figure 3.5: Wastewater load from acid sulphite pulping and treatment systems including reduction efficiency. Example of organic loads before and after treatment from a German sulphite pulp mill 145
Figure 3.6: Process diagram of the effluent treatment plant for a sulphite pulp mill. Example from an Austrian mill [Neusiedler AG, Austria] 147
Figure 3.7: SO_2 - circuit in a sulphite pulp mill 150
Figure 4.1: Main steps in Mechanical Pulping 163
Figure 4.2: Groundwood pulping process 164
Figure 4.3: Schematic of the TMP process and emissions 167
Figure 4.4: Schematic of the CTMP process 169
Figure 4.5: Mass stream overview of an integrated mechanical pulp and paper mill 172
Figure 4.6: Emissions to water from a CTMP mill 177
Figure 4.7: Emissions to the atmosphere from CTMP mills 180
Figure 4.8: Main water sources and sinks in an integrated mechanical pulp and paper mill 193
Figure 4.9: Water recycle system of the Meadow Lake CTMP mill 196
Figure 4.10: Zero liquid effluent process concept 1978
Figure 5.1: Flowsheet of an example for a stock preparation plant concept for processing recovered paper for case making material (2-ply testliner) 2200
Figure 5.2: Example of an overall plant concept for testliner (2-loop system) 22323
Figure 5.3: Example for an overall plant concept for (improved) newsprint 22424
Figure 5.4: Example for an overall plant concept for a recovered paper preparation plant for tissue paper 226
Figure 5.5: Mass stream overview of an integrated recovered paper processing mill 228
Figure 5.6: Basic flow chart of the recovered paper processing paper and board production 237
Figure 5.7: Example of water circuits for an integrated RCF mill for corrugated medium without de-inking (100% recovered paper) 238
Figure 5.8: Example of an optimised stock-water-system for an integrated production of de-inked pulp 23838

Figure 5.9: Specific energy consumption for recovered paper processing of a newsprint mill 245
Figure 5.10: Scheme of water loops in paper mills 258
Figure 5.11: Lay out of water loops in a paper mill with separation of water loops and counter-current flows 261
Figure 5.12: Example for an industrial in-line treatment in a zero effluent mill manufacturing corrugated medium [Niovelon, 1997]..... 264
Figure 5.13: Example for in-line treatment of closed water loops, process water treatment system of Zuelpich Papier GmbH, Recycled Paper Europe [Diedrich, 1997] 26467
Figure 5.14: Simplified scheme of a combined anaerobic/aerobic wastewater treatment plant..... 26769
Figure 5.15: Four examples for stock preparation plant concepts for processing recovered paper for 2-ply testliner 27376
Figure 5.16: Operating principle of a dissolved air flotation (DAF) 279
Figure 5.17: Simplified scheme for co-incineration of rejects in a brown coal fired power plant 291
Figure 5.18: Combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors 305
Figure 5.19: Membrane bioreactor using immersed membranes in an activated sludge reactor..... 307
Figure 5.20: The main principles of the RMF PCC process 30909
Figure 6.1: Key features of a twin wire paper machine..... 31414
Figure 6.2: Paper machine heat recovery system 31515
Figure 6.3: Simplified scheme of water and stock streams in a paper mill 31717
Figure 6.4: Possible lay out of a broke system of a paper mill manufacturing coated paper 319
Figure 6.5: Example of two different calenders: supercalender and machine calender 323
Figure 6.6: Mass stream overview of a paper mill 327
Figure 6.7: Positions of fresh water demand in a paper mill..... 331
Figure 6.8: Share of different synthetic chemical additives related to the global consumption 334
Figure 6.9: Fate of chemical additives in the paper manufacturing process; the example biocides 335
Figure 6.10: Machine room noise levels before and after the rebuild in different sections of a paperboard mill..... 350
Figure 6.11: Filtration ranges of different filtration technologies 358
Figure 6.12: Possible simplified lay out for a paper mill using ultrafiltration for white water purification. 36060
Figure 6.13: Example for an ultrafiltration recovery system for coating colours..... 365
Figure 6.14: Main processes for external treatment of paper mill wastewater and the ranges of suitable application 374
Figure 6.15: Pragmatic approach for assessment of the amount of heavily biodegradable additives to be expected in effluents from paper mills after treatment 380
Figure 6.16: Schematic presentation of the fate of chemical additives in paper manufacturing including external treatment [IFP, 1997]..... 381
Figure 6.17: Possible decision making tree for waste management of paper mill waste 384
Figure 6.18: Options for material recycling of paper mil residues and factors governing treatment options choice..... 386
Figure 6.19: Fuel triangle for residues from paper industry (provided by IFP) 388
Figure 6.20: Example for a heat recovery tower 396
Figure 6.21: Sankey diagram for a newsprint machine (980 t/d). 397
Figure 6.22: Sound levels L_{Aeq} at one reference point..... 399
Figure 6.23: Pipe resonator attenuation. Noise levels before and after silencer installation 401
Figure 6.24: Relative costs of external sound attenuation [according to Valmet]..... b
Figure 6.25: Toolbox for possible internal treatment and reuse of paper machine waters 415
Figure 6.26: Schematic of the Condebelt® drying process (high Z-pressure type) 417
Figure 6.27: System with heat pump for generating process steam 419
Figure IV.1: Continuous monitoring data of NOx emissions from a kraft recovery boiler over a 3 days period..... 469
Figure IV.2: Daily average data of NOx emissions from a recovery boiler over a 5 months period 470
Figure IV.3: Daily average COD emissions to water from a kraft pulp mill over 30-day period 4711
Figure IV.4: Daily average COD emissions to water from a kraft pulp mill over 5-month period..... 471
Figure IV.5: Daily average emissions to water from an integrated sulphite pulp and paper mill over a one-month period 472
Figure IV.6: Daily average emissions to water from an integrated sulphite pulp and paper mill over a 6-month period 473
Figure IV.7: Histogram of COD outflow of a paper mill..... 4744

List of Tables

Table 1.1: Functional use of paper and board 1
Table 1.2: Consumption of paper per capita 1995 2
Table 2.1: Kappa numbers currently achieved after different technologies used 22
Table 2.2: Chlorine dioxide generation methods in use in Finland 28
Table 2.3: Pollution load of debarking effluent before biological treatment 33
Table 2.4: Expected discharge of residual lignin measured as COD from bleach plants for different delignification techniques 35
Table 2.5: Examples for different sequences for bleaching of softwood pulp used in European pulp mills and the corresponding discharge of chlorinated organic substances measured as AOX 36
Table 2.6: Examples for different sequences for bleaching of hardwood pulp used in European pulp mills and the corresponding discharge of chlorinated organic substances measured as AOX 36
Table 2.7: Discharges of organic substances before external treatment from kraft pulp mills 37
Table 2.8: Discharges before treatment of phosphorus and nitrogen in kg/t of kraft pulp 37
Table 2.9: Discharges of metals from Kraft pulp mills in g/Adt 38
Table 2.10: Percentage reduction at wastewater treatment plants at chemical pulp mill 38
Table 2.11: Reported annual average discharges from kraft pulp mills within EU 38
Table 2.12: Emissions from Kraft pulp recovery boilers in kg/ADt at a gas flow of about 6000 - 9000 m^3/t 40
Table 2.13: Typical emissions to air from a lime kiln 43
Table 2.14: Emissions to air from bark boilers 45
Table 2.15: Examples for currently observed emissions from different types of auxiliary boilers 46
Table 2.16: Examples of measured values of chlorine emissions to air from the bleach plant and ClO_2-production from some Swedish pulp mills 47
Table 2.17: Long time (annual) average emissions to the atmosphere from kraft pulp mills within EU 47
Table 2.18: Average waste generation in kraft pulp mills in kg dry solids/t pulp 49
Table 2.19: Average composition of green liquor sludge with different amounts of lime mud 49
Table 2.20: Average metal concentrations in green liquor sludge with different amounts of lime mud 50
Table 2.21: Consumption of main chemicals in kg/t ADP for kraft pulp production 51
Table 2.22: Typical sulphur intakes to a bleached kraft pulp mill 52
Table 2.23: Average energy consumption in Swedish pulp and paper mills in 1995 53
Table 2.24: Average energy consumption for the production of 243000 ADt/a unbleached Kraft pulp, and integrated production of 250000 t/a paperboard 53
Table 2.25: Energy balance for the production of 243000 ADt/a unbleached Kraft pulp, and integrated production of 250000 t/a paperboard 54
Table 2.26: Energy consumption for non-integrated 250000 ADt/a bleached Kraft pulp 54
Table 2.27: Energy balance for non-integrated 250000 ADt/a bleached Kraft pulp 54
Table 2.28: Energy consumption for an integrated bleached Kraft mill with 250000 t/a of surface-sized uncoated fine paper. 55
Table 2.29: Energy balance for an integrated bleached Kraft mill with 250000 t/a of surface-sized uncoated fine paper 55
Table 2.30: Average electrical energy consumption in the manufacture of bleaching chemicals, ... 56
Tabelle 2.31: Übersicht über verfügbare Techniken für die Sulfatzellstoffherstellung und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb 60
Tabelle 2.32: Schmutzfracht im Abwasser aus der Nass- und Trockenentrindung vor der biologischen Behandlung 61
Tabelle 2.33: Derzeit mit verschiedenen Delignifizierungstechnologien erreichte Kappa-Zahlen und Vergleich der berechneten CSB-Frachten im Abwasser ohne Berücksichtigung der Waschverluste 67
Tabelle 2.34: Prozesssequenzen für die ECF-Bleiche bei Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nadelholz und Laubholz 70
Tabelle 2.35: Prozesssequenzen für die TCF-Bleiche bei Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nadelholz und Laubholz 72
Tabelle 2.36: Typische Konzentrationen in [mg/l] im Abwasser von Sulfatzellstofffabriken nach biologischer Behandlung (Belebtschlammanlagen) unter Annahme von gut bemessenen und betriebenen Anlagen 85
Tabelle 2.37: Reduktion der NO_x -Emissionen durch den Einsatz der Technik der Luftzuführung über der Flammenzone in einem neuen Laugen-Rückgewinnungskessel 97

Table 2.38: Beispiele für erreichte Werte im Abwasser nach nur primärer Behandlung von einigen bestehenden europäischen Zellstofffabriken (Bezugsjahr: 1997). Die meisten dieser Fabriken betreiben auch eine sekundäre, biologische Abwasserbehandlung (siehe Tabelle 2.40)..... 101
Tabelle 2.39: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach primärer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken..... 102
Tabelle 2.40: Beispiele von europäischen Zellstofffabriken für erreichte Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: 1997)..... 103
Tabelle 2.41: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach biologischer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken..... 104
Tabelle 2.42: Beispiele erreichter Abgasemissionsniveaus aus einigen gut betriebenen Zellstofffabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997)..... 106
Tabelle 2.43: Erreichte Abgasemissionsniveaus aus dem Aufschlussprozess bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken (Emissionen aus Hilfskesseln sind nicht enthalten)..... 107
Tabelle 2.44: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz von besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe..... 109
Tabelle 2.45: Beispiele für die Mengen an festen zu deponierenden Abfällen von einigen Sulfatzellstofffabriken..... 110
Tabelle 2.46: Energieverbrauch je Tonne Produkt bei Einsatz bester verfügbarer Techniken für verschiedene Produktionstypen..... 112
Table 2.47: Comparison of Organosolv pulping processes with modified kraft pulping..... 122
Table 3.1: Main sulphite pulping processes in Europe..... 123
Table 3.2: Examples for different sequences for bleaching used in European sulphite pulp mills and the corresponding discharge of organic substances from the bleach plant measured as COD..... 127
Table 3.3: Annual average specific input/output data from six integrated sulphite pulp and paper mills (different paper grades are produced) manufacturing about 850000 ADt/a (1996)..... 132
Table 3.4: Reported spans in annual average discharges in kg/ADt from Mg-sulphite pulp mills after treatment within Europe..... 135
Table 3.5: Specific emissions to water of an integrated dissolving sulphite pulp mill (and viscose fibre) before and after biological treatment [personnel communication, 1998]..... 135
Table 3.6: Discharge of metals from a Swedish partly integrated sulphite pulp mill in 1996..... 136
Table 3.7: Consumption of main chemicals in sulphite pulp production..... 136
Table 3.8: Emissions from sulphite pulp recovery boilers in kg/t and corresponding concentrations in brackets (mg/m^3) at a gas flow of about 6000 - 7000 m^3/t (NTP, dry gas)..... 137
Table 3.9: Atmospheric emissions from European sulphite pulp mills as yearly average..... 138
Table 3.10: Example for waste generated in production of sulphite pulp..... 139
Tabelle 3.11: Übersicht über verfügbare Techniken für die Sulfitzellstoffherstellung und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb..... 141
Tabelle 3.12: Beispiel für die Bleichabfolge der TCF-Bleiche von Sulfitzellstoff..... 143
Tabelle 3.13: Abwassereinleitung einer integrierten Sulfitzellstofffabrik nach biologischer Behandlung..... 148
Tabelle 3.14: Abgasemissionen in die Atmosphäre vom Laugen-Rückgewinnungskessel einer kleinen österreichischen Fabrik zur Herstellung von 35000 t/a Sulfitzellstoff..... 151
Tabelle 3.15: Beispiele von bestehenden, leistungsfähigen europäischen Zellstofffabriken für erreichte Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: 1997)..... 156
Tabelle 3.16: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach biologischer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken..... 156
Tabelle 3.17: Beispiele erreichter Abgasemissionsniveaus aus einigen gut betriebenen, bestehenden Zellstofffabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997 für die deutschen und 1998 für die österreichischen und schwedischen Fabriken)..... 158
Tabelle 3.18: Abgasemissionsniveaus aus dem Aufschlussprozess (Laugen-Rückgewinnungskessel und flüchtige Emissionen) bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken (Emissionen aus Hilfskessels sind nicht enthalten)..... 159
Tabelle3.19: Abgasemissionsniveaus für Hilfskessel bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe..... 160
Tabelle 3.20: Energieverbrauch je Tonne Produkt bei Einsatz bester verfügbarer Techniken für verschiedene Produktionstypen..... 162
Table 4.1: Main raw materials, yields and end-uses of mechanical pulps..... 163

Table 4.2: Yearly average values (reference year: 1997) of consumption and emission levels from a German mill for the manufacturing of wood-containing printing paper (LWC, ULWC, HWC) based on oxidative bleached TMP (60 % of the fibrous material)....174
Table 4.3: Yearly average values of consumption and emission levels from Finnish CTMP mills 175
Table 4.4: Water consumption in mechanical pulping 176
Table 4.5: Typical specific loads such as BOD_5, COD and nutrients in water from the mechanical pulping of Norwegian spruce (Picea abies) before external treatment....178
Table 4.6: Emissions achieved with activated sludge treatment at mechanical pulp mills....179
Table 4.7: Emissions of volatile organic compounds from a German TMP mill before treatment 180
Table 4.8: Composition of primary sludge from sedimentation tanks and composition of excess sludge from the activated sludge plant....181
Table 4.9: Consumption of main chemicals in kg/t for bleached grades of mechanical pulp....182
Table 4.10: Energy consumption and recovery of energy in mechanical pulping....183
Table 4.11: Energy consumption in an integrated mill with a production capacity of 500000 t/a newsprint from TMP....184
Table 4.12: Energy balance for an integrated Swedish mill manufacturing 500000 t/a of newsprint from TMP 184
Table 4.13: Energy balance for a non-integrated Finnish CTMP mill (CSF 400 ml)....185
Tabelle 4.14: Übersicht über verfügbare Techniken für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und chemisch-mechanischem Holzstoff und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb....187
Tabelle 4.15: Beispiele für Jahresmittelwerte für das Abwasseremissionsniveau nach der primären Behandlung einiger europäischer Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und Papier (Bezugsjahr: 1997)....20909
Tabelle 4.16: Beispiele für erreichbare Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung von integrierten europäischen Holzstoffanlagen und Papierfabriken, die holzhaltiges Papier herstellen....2101
Tabelle 4.17: Mit dem Einsatz der besten verfügbaren Techniken erreichte Emissionsniveaus als Jahresmittelwerte für die Herstellung von holzhaltigem Papier (mit einem Holzstoffanteil von über 50%)....2112
Tabelle 4.18: Mit dem Einsatz der besten verfügbaren Techniken erreichte Emissionsniveaus als Jahresmittelwerte für die Herstellung von CTMP-Holzstoff 212
Tabelle 4.19: Abgasemissionsniveaus für Hilfskessel bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe 213
Tabelle 4.20: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Energieverbrauch je Tonne Produkt für unterschiedliche Herstellungsarten holzhaltiger Papiere 21515b
Table 5.1: Consumption and emission levels for stock preparation of different paper grades produced2300
Table 5.2: Environmental data as yearly average values for testliner and wellenstoff 2322
Table 5.3: Yearly average consumption and emission levels from RCF based paper mills manufacturing mainly newsprint (standard and high-grade newsprint)....23434
Table 5.4: Typical yearly average consumption and emission levels for the manufacturing of tissue 235
Table 5.5: Typical water consumption in RCF based paper and board production 239
Table 5.6: Main process and product aids and their application in the paper industry 240
Table 5.7: Typical chemical doses in the de-inking process including bleaching 2411
Table 5.8: Real world examples for the energy consumption in the production of tissue and newsprint from recovered paper [data from Valmet]....24343
Table 5.9: Energy consumption in an integrated Swedish mill with a production capacity of 500000 t/a of newsprint from deinked pulp 24444
Table 5.10: Energy balances of two integrated RCF newsprint mills with a production capacity of 500000 t/a and 250000 t/a respectively....24444
Table 5.11: Average water emission for RCF mills after primary treatment and before discharge to a sewage treatment plant....24646
Table 5.12: Average water emission for RCF mills discharging to water bodies after primary and biological treatment at the site. 246
Table 5.13: Achievable dry contents for rejects and corresponding energy consumption for different fibre contents, [Data from a machinery supplier]....248
Table 5.14: Achievable dry contents for sludge and corresponding energy consumption for different ash contents, [Data from a machinery supplier]....248
Table 5.15: Amount of residues related to the input of raw material [%] depending on qualities of recovered paper used and paper grade produced....249
Table 5.16: Composition of rejects from the recovered paper processing for corrugated medium (4-6% reject) 250

Table 5.17: Composition of sludge from fibre recovery and chemical-mechanical treatment of wastewater 250
Table 5.18: Typical pollutant contents of de-inking sludge from RCF paper mills compared to sludge from municipal WWTP 2511
Table 5.19: Measured emission data from incineration of rejects and sludge from two German RCF mills 252
Tabelle 5.20: Übersicht über die Techniken, die bei der Bestimmung der BVT für Altpapierfabriken betrachtet werden; die Verlagerungseffekte und ein Hinweis zur Anwendbarkeit sind ebenfalls angegeben..... 25556
Tabelle 5.21: Einige Vorteile und Nachteile der Wasserkreislaufschließung in Papierfabriken..... 259
Tabelle 5.22: Jahresmittelwerte für das behandelte Abwasser aus einer Fabrik zur Herstellung von Papier und Karton aus 100% Altpapier ohne Deinking..... 268
Tabelle 5.23: Reinigungsleistung und gemessene Abwasserwerte von Belebtschlammanlagen mit niedriger Schlammbelastung zur Behandlung von Abwasser aus deutschen Fabriken zur Herstellung von Papier und Karton aus Altpapier mit Deinking [Dutch notes on BAT, 1996]..... 27073
Tabelle 5.24: Haupteigenschaften und Strombedarf für verschiedene Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen zur Verarbeitung für die Herstellung von zweilagigem Testliner aus Altpapier. Es werden einige Erläuterungen gegeben, die als hilfreich angesehen werden; die Angaben stammen von [IFP, 1998]..... 275
Tabelle 5.25: Spezifischer Energiebedarf und Stoffdichte beim Betrieb für Standardverfahren bei der Herstellung von Wellenstoff und Testliner..... 277
Tabelle 5.26: Vergleich der Leistung im Hinblick auf den Umweltschutz einer in Betrieb befindlichen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit einem öffentlichen Kohlekraftwerk unter deutschen Bedingungen..... 281
Tabelle 5.27: Emissionswerte für die Rejektverbrennung in einer Mehretagenverbrennungsanlage im Vergleich zu deutschen Grenzwerten [IFP, 1998]..... 287
Tabelle 5.28: Zusammensetzung der Rejekte aus der Herstellung von Testliner and Wellenstoff 290
Tabelle 5.29: Emissionswerte für die Verbrennung von Deinkingschlamm (mit zusätzlich ca. 5% Überschussschlamm) in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage in Deutschland und ihr Vergleich mit den deutschen Grenzwerten [1998 Vereinfachte Umwelterklärung, Sachsen Mill].....292c
Tabelle 5.30: Beispiele für Jahresemissionsniveaus der Abwasserbelastung nach Primärbehandlung von nur einigen integrierten Altpapier verarbeitende Fabriken mit und ohne Deinking 297
Tabelle 5.31: Beispiele für erreichte Jahresmittelwerte für die Abwasseremissionen einiger Altpapier verarbeitenden Papierfabriken in Europa nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: meist 1997)..... 298
Tabelle 5.32: Jahresmittelwerte für die bei Einsatz der BVT erreichten Emissions- und Verbrauchsniveaus für integrierte Altpapier verarbeitende (> 50% Altpapier) Papierfabriken mit Deinking (z.B. Zeitungsdruckpapier, Kopierpapier, in einigen Fällen Faltschachtelkarton) und ohne Deinking (z.B.)..... 299
Tabelle 5.33: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe 30101
Tabelle 5.34: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Wärme- und Stromverbrauch für unterschiedliche Arten von Altpapierfabriken 303
Table 6.1: Example for heat recovery and heat losses of a paper machine with a production of 667 t/d [data from Valmet] 316
Table 6.2: Annual average input/output data from the biggest non-integrated wood-free fine paper mill in Europe (coated and uncoated grades) manufacturing about 1018450 t/a (1997)..... 328
Table 6.3: Consumption and emission levels for typical tissue mills [ETS data] 329
Table 6.4: Examples for major raw materials used for manufacturing of different types of paper 330
Table 6.5: Water discharge in European paper mills..... 332
Table 6.6: Role of energy in the main papermaking stages and potentials for improvement..... 338
Table 6.7: Energy consumption in a non-integrated coated paper mill with a production capacity of 125000t/a [SEPA-Report 4712-4, 1997] 339
Table 6.8: Typical power usage in refining by product [DG XVII, 1992] 340
Table 6.9: Typical electrical energy consumption at modern paper mills based on dimensioning capacity of the paper machine [data from a supplier]..... 341
Table 6.10: Typical specific energy consumption at the approach flow system of paper mills 341
Table 6.11: Typical specific energy consumption at the vacuum system of the PM wet end at paper mills 341
Table 6.12: Typical specific energy consumption at the under machine pulpers of the PM 341

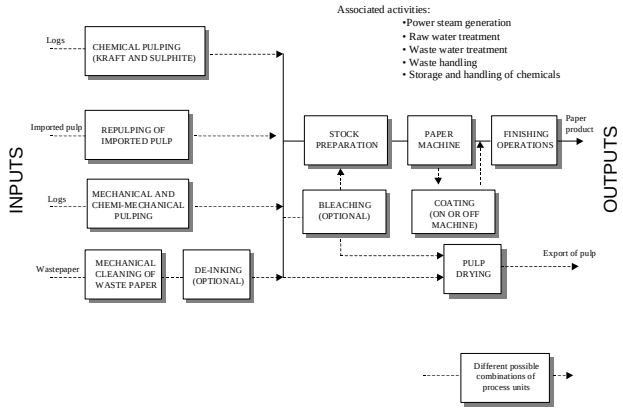
Table 6.13: Typical specific energy consumption for new machines at the refiners per tonne of refined pulp 342
Table 6.14: Typical specific energy consumption at the stock preparation and white water systems per tonne of paper (excluding refining, pulpers and approach flow system) 342
Table 6.15: Typical specific energy consumption of PM drives 342
Table 6.16: Typical wastewater discharges paper mills before any treatment and after biological wastewater treatment [ADEME, 1996] 344
Table 6.17: Amount of solid waste in [t/a] for some paper grades 346
Table 6.18: Organic substances measured in the exhaust air of paper mills before heat exchanger [PTS-FB 09/97] 348
Table 6.19: Major noise sources of paper and board machines 349
Tabelle 6.20: Übersicht über die verfügbaren Techniken für die Festlegung der BVT für Papierfabriken 352
Table 6.21: Mögliche Vorteile und Nachteile einer verstärkten Wasserkreislaufeinengung in Papierfabriken 355
Tabelle 6.22: Überblick über die biologische Behandlung von Papierabwasser 375
Tabelle 6.23: Leistungsfähigkeit der chemischen Fällung als sekundäre Behandlung von Papierabwasser 378
Tabelle 6.24: Erreichbare Emissionsniveaus (Tagesmittelwerte) aus Kesseln mit Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen (es wird nur die Verbrennungstechnologie eingesetzt) und Entstaubung mittels Elektrofiltern [die Angaben basieren auf einer großen Anzahl deutscher Anlagen] 389
Tabelle 6.25: Stellen, an denen Energieeinsparungen durchgeführt werden können und Angabe zur Effektivität dieser Maßnahmen [DG XVII, 1992] 394
Tabelle 6.26: Angaben von mit BVT erreichte spezifische Energieverbräuche für unterschiedliche Arten der Papierherstellung 395
Tabelle 6.27: Beispiel für in der Nachbarschaft von Papierfabriken erreichbare Lärmpegel ..... b
Tabelle 6.28: Beispiele für die Reinigungsleistung geeigneter biologischer Behandlungssysteme für Papierabwässer 405
Tabelle 6.29: Beispiele für gemessene Jahresmittelwerte für Abwassereinleitungen nach lediglich primärer Behandlung von einigen nichtintegrierten Papierfabriken in einem Mitgliedsstaat (Bezugsjahr: 1997); 406
Tabelle 6.30: Beispiele für erreichte Jahresmittelwerte im Abwasser nach biologischer Behandlung von einigen leitungsfähigen Papierfabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997). 407
Tabelle 6.31: Mit BVT erreichte Jahresmittelwerte für die Abwasseremissionen aus nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von ungestrichenen Feinpapieren, gestrichenen Feinpapieren und zur Herstellung von Tissue 408
Tabelle 6.32: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe 410
Tabelle 6.33: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Energieverbrauch für unterschiedliche Arten der Papierherstellung 412
Tabelle 6.34: Anhaltswerte für zu erwartende Emissionswerte für einige Arten von nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von Spezialpapieren auf Basis von zugekauftem Zellstoff 413
Table II.1: Current national discharge limits for production of *bleached kraft pulp* 453
Table II.2: Current national discharge limits for production of *bleached sulphite pulp* 4544
Table II.3: Current national discharge limits for production of *paper* 4555
Table II.4: Paris and Helsinki Commission limit values (yearly average) for integrated and non-integrated bleached sulphite pulp and paper industry 4577
Table II.5: Paris and Helsinki Commission limit values (yearly average) for integrated and non-integrated bleached kraft (sulphate) pulp and paper industry 4587
Table II.6: Subcategorization Scheme of the US Pulp and paper Industry "Cluster Rules" 459
Table III.1: Standard methods for the analysis of Total Suspended Solids (TSS) within the European Union 463
Table III.2: Standards for determination of air pollutants from stationary source emissions published by International Standard Organisation (ISO) 466
Table III.3: Standard methods for the analysis of particles/dust within the European Union 467

UMFANG

Eine Papierfabrik verarbeitet entweder den anderswo hergestellten Zellstoff weiter oder ist in den Aufschlussprozess am selben Standort integriert. Das heißt, dass der Aufschluss und die Aufbereitung von Recyclingpapier sowie die Papierherstellung selbst getrennt oder an einem einzigen Standort erfolgen können. Es gibt sowohl integrierte als auch nichtintegrierte Zellstoff- und Papierfabriken. Normalerweise sind der mechanische Aufschluss und die Verarbeitung von Recyclingfasern Bestandteil der Papierherstellung, wobei beide Prozesse heute auch unabhängig voneinander durchgeführt werden.

Das vorliegende BVT-Referenzdokument erläutert die Verfahren bei der Zellstoff- und Papierproduktion in integrierten Zellstoff- und Papierfabriken sowie in nichtintegrierten Zellstofffabriken (zur Herstellung von Handelszellstoff) und nichtintegrierten Papierfabriken, in denen zugekaufter Zellstoff zur Papierherstellung verwendet wird.

Die folgende Abbildung zeigt die wichtigsten im vorliegenden BVT-Dokument beschriebenen Produktionsprozesse.



Inputs	-	Ausgangsstoffe
Logs	-	Holzprügel
Chemical Pulping	-	Chemischer Aufschluss
(Kraft and Sulphite)	-	Sulfat- und Sulfitzellstoffaufschluss
Imported Pulp	-	Fremdzellstoff
Repulping of Imported Pulp	-	Neuaufschluss von Fremdzellstoff
Mechanical and Chemi-Mechanical Pulping	-	Mechanischer und chemisch-mechanischer Aufschluss
Wastepaper	-	Altpapier
Mechanical Cleaning of Wastepaper	-	Mechanische Reinigung von Altpapier
Deinking (Optional)	-	Deinking (fakultativ)
Associated activities	-	damit verbundene Tätigkeiten
Power Steam Generation	-	Energie- und Dampferzeugung
Raw Water Treatment	-	Rohwasseraufbereitung
Waste Water Treatment	-	Abwasseraufbehandlung
Waste Handling	-	Abfallaufbereitung
Storage and Handling of Chemicals	-	Lagerung und Umgang von/mit Chemikalien
Stock Preparation	-	Faserstoffaufbereitung
Paper Machine	-	Papiermaschine
Finishing Operations	-	Veredlungsvorgänge
Paper Product	-	Papiererzeugnis
Bleaching (Optional)	-	Bleichen (fakultativ)
Coating (On or Off Machine)	-	Streichen (in oder außerhalb der Maschine)
Pulp Drying	-	Zellstofftrocknung
Export of Pulp	-	Zellstoffexport
Outputs	-	Fertigprodukte
Different possible combinations of process units	-	Verschiedene mögliche Verfahrenskombinationen

Die Beschreibung enthält die folgenden Hauptprozesse:

- Chemischer Aufschluss
  - Sulfataufschlussverfahren
  - Sulfitaufschlussverfahren
- Mechanischer und chemisch-mechanischer Aufschluss
- Verarbeitung von Recyclingpapier mit bzw. ohne Druckfarbenentfernung (Deinking)
- Papierproduktion und verwandte Verfahren

Vorgelagerte Prozesse, wie Forstwirtschaft, die Herstellung von Prozesschemikalien an anderen Standorten und der Transport der eingesetzten Materialien, sowie nachgelagerte Prozesse, wie Papierverarbeitung und Drucken, werden im vorliegenden BVT-Referenzdokument nicht behandelt. Trotzdem haben diese einen Einfluss auf die Qualität des Recyclingpapiers sowie auf die Prozesse zur Herstellung von Erzeugnissen aus Altpapier.

Des Weiteren gibt es eine Reihe umweltrelevanter Prozesse und Produktionsschritte, die mit der Zellstoff- und Papierproduktion nicht in unmittelbarem Zusammenhang stehen und daher im vorliegenden Dokument nur kurz erwähnt werden. Dabei handelt es sich u.a. um folgende Aspekte:

- Arbeitssicherheit und -risiken
- Rohwasseraufbereitung
- Wärme- und Stromzeugungsanlagen
- Lagerung und Umgang von/mit Chemikalien
- Kühl- und Vakuumsysteme
- Emissionsüberwachung

1 GENERAL INFORMATION

1.1 Paper consumption in Europe

In developed societies the use of a multitude of paper and board based products is everyday reality for most people. Paper as we know it today has been in existence for over two thousand years, and is competing successfully with modern electronic information media and advanced plastic and composite packaging materials. A look at the main functional uses of paper and board shows the diversity of products.

Functional use	Typical grade	Typical end products	Important trends
Information - collection - distribution - storing	- Newsprint - Coated and uncoated magazine (SC and LWC) - Coated and uncoated woodfree printing and writing	- Newspapers - Journals - Books - Computer printouts - Xerographic copies - Inserts - Illustrations	Increased use of multicolour printing and copying; Electronic media taking over banking and trading documents; Increased recycling as raw material; Increased use of additives.
Packaging -transportation -distribution -protection	- Liner - Sack - Corrugating medium - Folding box board - Liquid packaging board - Wrapping	- Bags - Boxes - Wrappings - Containers	Increased use for distribution of food; General increase in recycling of packaging materials; Increased use of composites.
Hygienic - personal care - cleanliness - disease prevention	Tissue - dry crepe - wet crepe	- Toilet tissue - Kitchen towels - Facial tissue - Napkins - Hand towels - Hospital clothing - Wipers	Use increases with general living standard; End of the chain for the recycling of fibres. Use of virgin fibre for top-end products
Speciality - a great variety	- Official papers - Filter paper - Fire resistant papers	- Notes - Stamps - Air filters - Coffee filters - Baking paper	An ever-increasing number of new applications.

Table 1.1: Functional use of paper and board
[Finnish BAT Report, 1997, modified by EIPPCB]

A trend not shown above is that more and more functions in many products are combined, such as printing on packages and towels.

The consumption of paper and board is strongly related to living standards and over long-term periods there is a strong correlation between the increase in the consumption of these products and the growth in the GNP (Gross National Product). As is shown in Table 1.2 there is a considerable variation in the world-wide consumption of paper per capita. Even within Europe there are big differences. The European countries with the highest paper consumption are Germany (23.4%), United Kingdom (17.5%), France (14.3%), Italy (12.6%), Spain (7.9%) and Netherlands (4.8%). It is expected that EU countries that are now below the EU average would increase their paper consumption to reach the present average. It can be predicted that paper manufacturing will be a growth industry for years to come.

Region	Country	Consumption of paper per capita [kg/year] ‘ 95	Paper consumption in 1000 t (1995)
Western Europe		**171**	**65834**
	Austria	192	1550
	Belgium	237	2663*
	Denmark	214	1134
	Finland	175	896
	France	164	9631
	Germany	194	15821
	Greece	82	857
	Ireland	102	361
	Italy	140	8076
	Luxembourg	168	* see Belgium
	Netherlands	201	3120
	Norway	176	756
	Portugal	82	802
	Spain	129	5147
	Sweden	210	1857
	United Kingdom	194	11288
Eastern Europe		**19**	
	USA	332	87409
	China	22	26499
	Indonesia	14	no data
	Japan	239	30019
	Brazil	35	5433
	Egypt	9	No data
Total world		**49**	**276231**

Note:
***** There was only a common figure for Belgium and Luxembourg available

Table 1.2: Consumption of paper per capita 1995
[Pulp and Paper International (PPI), 1996], [Verband Deutscher Papierfabriken, Papier ‘ 97]

1.2 The European Pulp Industry

Europe plays an important role in the global pulp and paper industry; it is the second largest producer and consumer of paper and board, North America being the leader. Its role in pulp production is significant – the annual production of woodpulp is about 35 million t/a the amount produced representing about 1/5 of the world’s total supply.

The pulp supply consists of market pulp producers and of companies using the bulk of their pulp output in their own integrated paper production and selling only the remaining part to the open market. In Western Europe, market pulp is supplied by a few large mills in Finland, Sweden, Portugal, Spain, Austria, Belgium and France. With respect to market pulp bleached kraft is the dominating grade making up more than three-quarters of whole production of 9 million tonnes. Of that, only 11.4 % sulphite pulp, 7% mechanical and semi-chemical pulp and 3.2% unbleached sulphate pulp were delivered to the open paper market.

Finland and Sweden are major producers of softwood and hardwood pulps, Portugal and Spain providing significant amounts of hardwood pulp grades. Practically all bleached softwood kraft pulp and nearly 90% of the bleached hardwood pulp used in Central Europe is market pulp. Some 3.5 million t/a of pulp come from Finland and Sweden, whereas Portugal and Spain export approximately 1.5 million tonnes of pulp annually to EC countries. The four biggest markets for market pulp are Germany, France, Italy and U.K.

The main grades of woodpulp for papermaking in 1996 across Europe were bleached sulphate (13 Mt/a corresponding to 40.8%) and mechanical & semi-chemical pulp (12.3 Mt/a corresponding to 38.3%) followed by 4.1 Mt/a unbleached sulphate (12.7%) and 2.4 Mt/a sulphite pulp (7.5%).

In terms of geographical distribution, Figure 1.1 and Figure 1.2 show how Sweden (30.2%) and Finland (29.9%) dominate the amount of woodpulp for papermaking. Iberia accounts for 9.4%, France for 8%, Norway for 7.0% and Germany for 5.6% of the woodpulp produced.

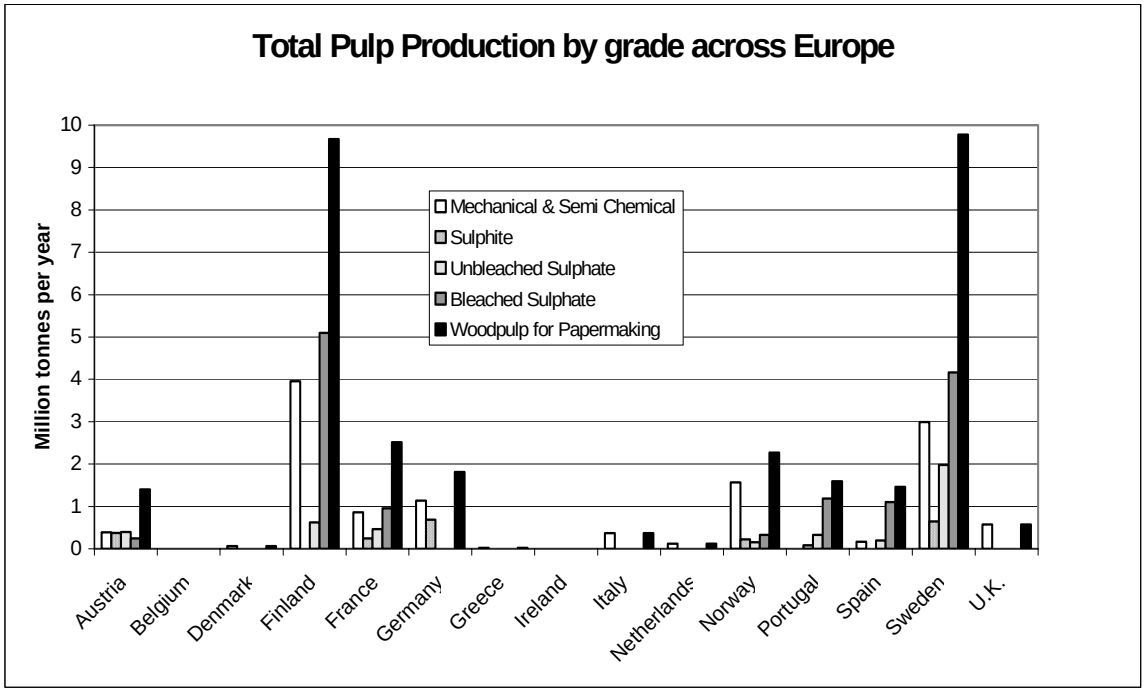


Figure 1.1: An overview of the industry distribution across Europe for pulp production [CEPI 1997, Annual Statistics 1996]

In Europe, relating to pulp grades most sulphate production (total: 67 mills) is located in Finland and Sweden with Spain, Portugal, France and Austria making up the balance. Most sulphite production (total: 24 mills) is located in Sweden, Germany, Austria and France with some more in Italy and Portugal.
In Western Europe, there are 101 mills producing mechanical pulp locating mainly in Finland, Germany, Sweden, France, Italy and Norway. The main producers of semi-chemical pulp (total: 23 mills) are Sweden, Finland, Norway and Italy.

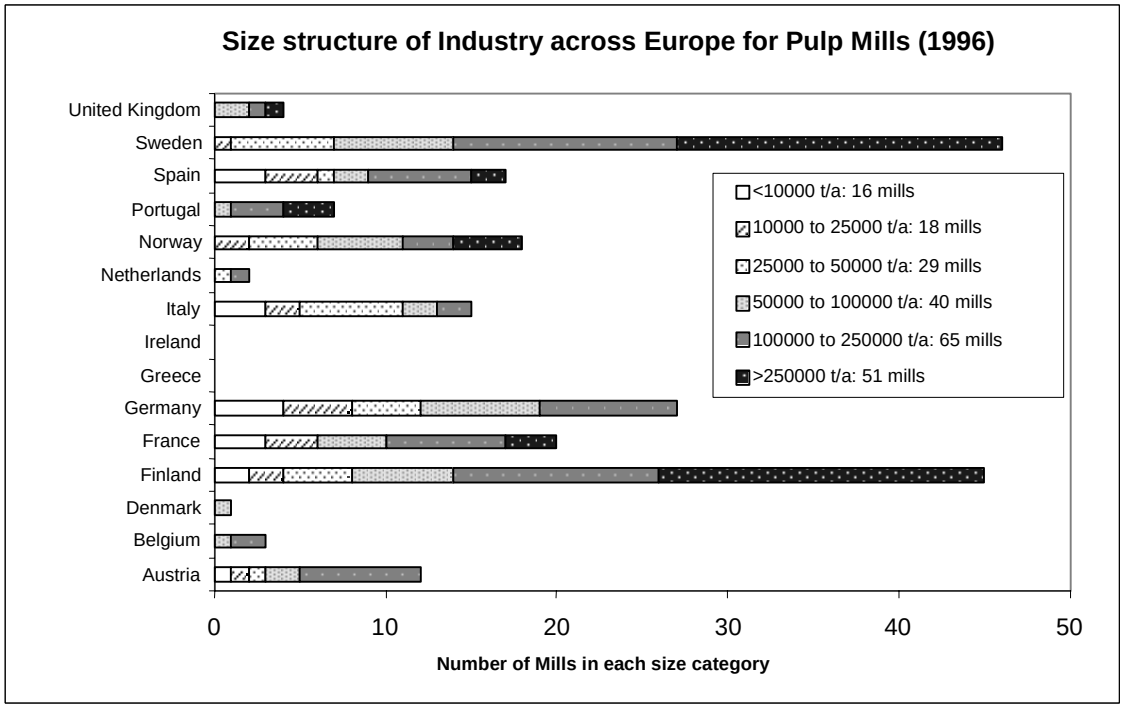


Figure 1.2: An overview of the mill size distribution across Europe for pulp production [CEPI 1997, Annual Statistics 1996]

Sweden and Finland have most of the larger mills over 250000 tonnes per year capacity and only a few small in the size range of less than 10000 tonnes per year. The average size of pulp mills in Western Europe is 180000 t/a [PPI, 1996]. Of the 222 pulp mills in Western Europe 74 are producing market pulp.

Besides virgin fibres, approximately 30 million t/a of recycled fibre – this corresponds to about 45 percent of the total fibres used for papermaking - are used in Western Europe. The utilisation rate is relatively high in newsprint (49%), tissue and other hygiene papers (66.9%), liner and fluting (85.9%) and cartonboards (52.2%). The production of recycled fibre is large in countries with a high population density and high per capita consumption, such as Germany, France, Italy and the Netherlands as shown in Figure 1.3. About two thirds of the recovered paper is used for non de-inking purposes (22 Mt) and about one third of the recovered paper (10 Mt) is used for de-inked paper grades like newsprint, other graphic papers and hygienic papers.

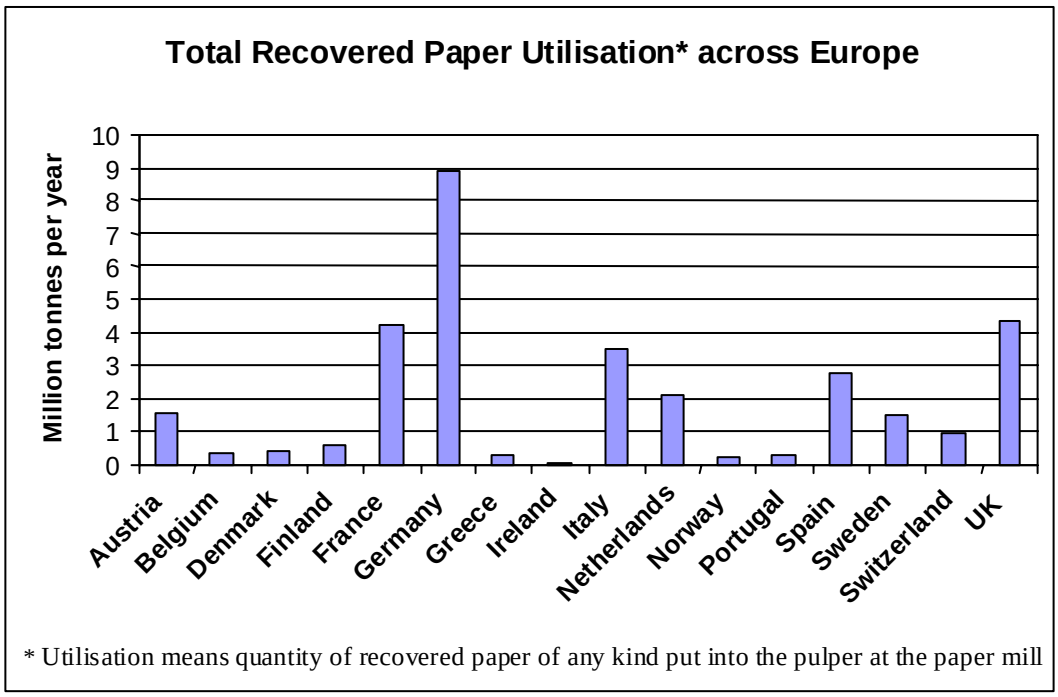


Figure 1.3: Recovered paper utilisation in Europe 1996
[CEPI, Annual statistics, 1996]

1.3 Geographical Distribution of the European Paper Industry

European paper production in 1996 totalled about 75 million tonnes, which corresponds to approximately a quarter of the world' s total paper and board production. The term paper covers paper and paperboard of all grammages. The main paper producers are Germany (20.2%), Finland (14.2%), Sweden (12.4%), France (11.7%), Italy (9.6%) and UK (8.5%). In 1996 total exports amount to 41 million tonnes, imports come to 34 million tonnes (the figures of this section are mainly derived from [CEPI, Annual Statistics 1996]).

From the whole paper production about 40% was packaging; 13% was newsprint; 38% was other graphic papers (writing / printing) and 6% tissue. About half of the writing and printing production was coated (12.8 Mt/a).

The main producers of graphic papers are Germany and Finland followed by Sweden, France, Italy and U.K. Newsprint production has traditionally concentrated in Finland and Sweden. The increased use of recycled fibres by the Central European producers has caused the location of industry to shift to the large consumer centres, such as Germany. Due to the nature of newsprint as a commodity paper grade, production units are large per machine capacity, amounting to an average of 145000 t/a in total Western Europe.

Wood-containing printing and writing papers are mainly produced in Finland and Germany, which together account for approximately a 60% share of total production. Wood-containing papers are supplied by large-scale integrated mills.

In the manufacturing of woodfree printing and writing papers Germany, France, Finland, Italy, Sweden, Austria play the leading role with remarkable amount of paper produced in most other European countries. The majority of the market consists of a small number of concentrated producers.

Major producers of liner and fluting are Germany and France. They represent approximately 35% of total production. Recycled-fibre-based production, concentrating in Central Europe has grown more rapidly than virgin fibre based production.

For manufacturing of cartonboards both recovered and virgin fibres are used as raw material. Recycled fibre-based grades are dominantly supplied by the region of Central Europe, whereas the virgin fibre based folding boxboard and liquid packaging board production is concentrated in the Nordic countries. Production capacity consists of rather small mills and machines, the average machine capacity amounting to 33000 t/a, except for the mills located in Finland and Sweden, with an average machine capacity of 110000 t/a.

Tissue production is concentrated in four countries with France, Germany, Italy and the UK producing over 70% of Europe's tissue. Although there are over 60 companies in total producing tissue, three multinationals dominate; two American and one Swedish, with over 60% between them. There are still many small companies producing 10000 t/a or less, which are private or family owned businesses. The average machine size is very small, approximately 19000 t/a.

Figure 1.4 and Figure 1.5 show how paper manufacturing is more widely spread across Europe than the pulp mills.

The Figure 1.4 distinguishes graphic papers (newsprint, uncoated mechanical, uncoated woodfree, coated papers), sanitary and household papers (tissue and other hygienic papers) and packaging papers (case materials, folding boxboard, wrapping up to 150 g/m^2 and other papers mainly for packaging).

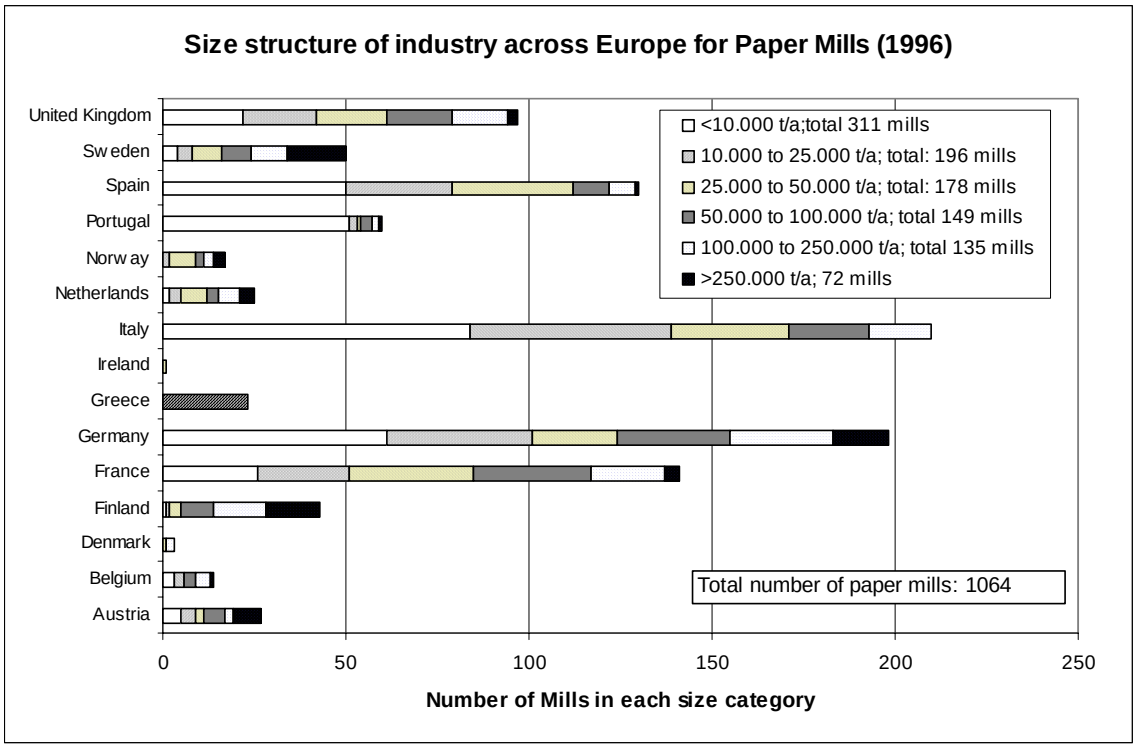


Figure 1.4: An overview of the industry distribution across Europe for paper production
No data was available on the size structure for the Greek paper mills [CEPI 1997, Annual Statistics 1996]

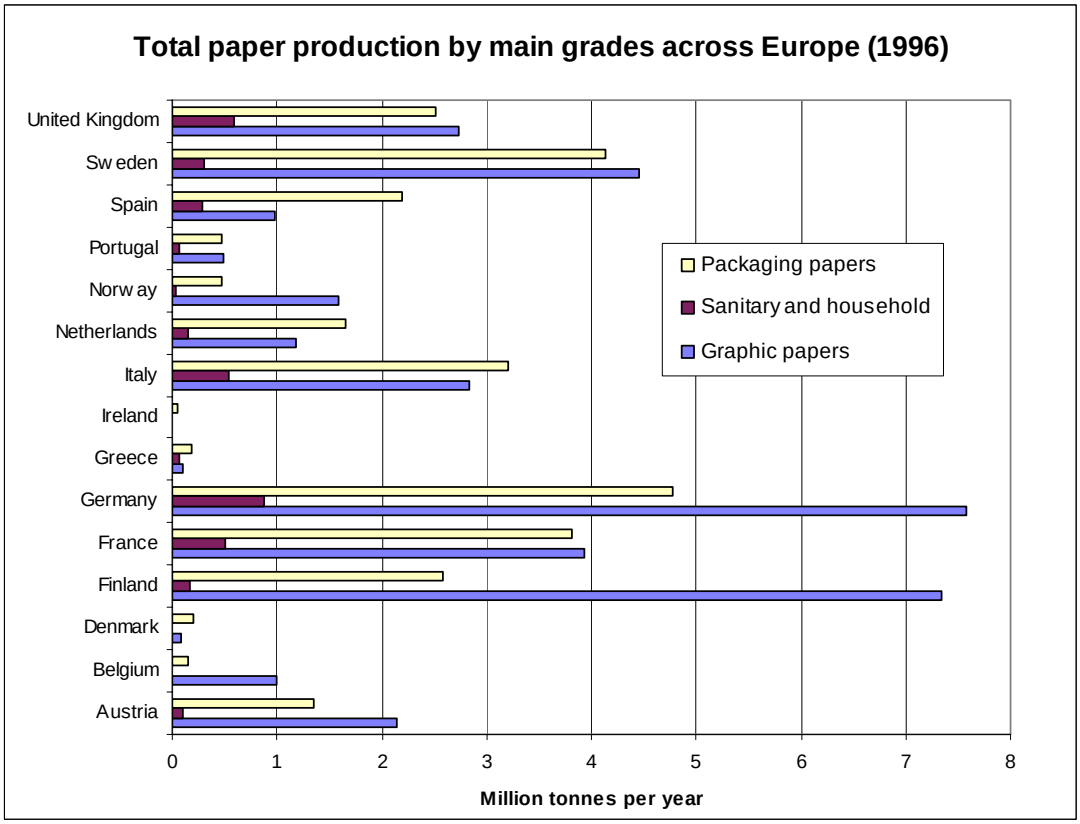


Figure 1.5: An overview of the mill size distribution across Europe for paper production [CEPI 1997, Annual Statistics 1996]

The total amount of paper mills in Western Europe accounts for 1064 most of them located in Italy, Germany, France and Spain representing together 679 mills. Only 66 very large mills are found in the category of >250000 tonnes per year but 342 mills in the small category of less than 10000 tonnes per year. Compared to pulp production a relatively high number of small and medium-sized paper manufacturing facilities are in operation.

About 30% of the paper mills are integrated with pulp production. Mechanical paper grades, like newsprint, SC and LWC, are usually integrated with mechanical pulp and often buy only small amounts of chemical pulp. Especially for recovered paper manufacturing the level of integration is high; nearly all recovered paper mills include recovered paper processing, some of them adding purchased pulp. However, fine paper production in Central Europe is mainly based on purchased pulp i.e. has a high share of non-integrated industry, whereas in Nordic countries paper mills have in many cases been built adjacent to a pulp mill.

Historically, pulp and paper mills were, and mostly still are located close to some body of water as the availability of water plays a major role in the production process. Rivers were used to generate the power needed for the pulping, to supply process water and as recipient for discharges from the mills. The waterways were used for the transportation of both raw materials and products. As consumption of paper and board increased, the size of the mills started to grow and frequently mills were developed close to the raw material source. The global marketing of pulp and the increased use of recycled fibre now tends to favour locating new paper mills close to the market.

1.4 Economic situation

Pulp and paper industries are going through a process of consolidation and globalisation, which has not yet reached a more stable status. The concentration process will lead to a reduction of companies. As a result of these moves, the industry' s structure is changing markedly. In 25 years the number of paper machines in Europe has been reduced by about 60% while the total capacity has almost doubled. Many companies have grown by investing in new capacity but also by consolidating a large number of small obsolete paper and board mills. Thus, the European Paper Industry comprises a relatively small number of very large multi-national groups at one end of the scale yet a large number of small businesses at the other. The large number of relative small sized mills has developed niche strategies on the market.

There has been a significant change in the ownership structure in the last 10 years. Typical features in this development have been concentration of producers into bigger companies and integration of paper mills with the overseas pulp producers into bigger companies and integration of paper mills with the overseas pulp producers or acquisitions or financial co-operation relationships between European and overseas manufacturers. Companies from the United States, the Republic of South Africa or Indonesia have been integrated in or have established closer business relationships with European paper and board manufacturers. Likewise, there have been more regional and local integration trends inside some countries like Sweden and Finland. This reflects the global nature of the pulp and paper business today. By 2010 it is anticipated that the major markets of the USA, Europe and Japan are joined by Asia and in particular China and Indonesia. Southeast Asian markets are likely to grow and lead the world' paper consumption. International trade in paper and papermaking fibre will probably continue to be a feature of the industry with growth continuing in all main production regions. The fastest growth will be seen in the paper and paperboard trade as countries with surplus of fibre add value before exporting.

It is typical of the pulp and paper industry that extreme price variations occur e.g. the fluctuations of the price of market kraft pulp resulting from over-capacities and simultaneous temporarily demand drops. The price variation is not the same for all pulp and paper products. The closer a company is to the ultimate consumer, the smaller the price fluctuations of the product. For example, the price of pulp is much more volatile than that of tissue paper. The smaller the transactions and the smaller the customer the smaller the variations tend to be.

The overall demand for paper and board generally shows an upward trend with world-wide paper consumption increasing from 30 million tonnes in 1946 to 214 million tonnes in 1987. The rate of increase since 1987 was slightly reduced and world-wide total paper consumption in 1996 was approximately 280 million tonnes. Whether this growth will continue largely depends on developments around the world but the paper and board industry expects an average annual growth of about 3 percent up to the year 2010 although the changes would not be expected to be the same for different paper types.

Dominating pulp producers are the industrialised countries of the Northern Hemisphere, i.e. USA, Canada, Sweden, Japan and Finland. In Europe, Finland and Sweden, in particular, largely rely upon the revenue from exports of pulp and paper products. This is due to the high "nativeness" of these products i.e. very little import is needed in order to support the production.

1996 the Western European pulp and paper industry gives work to about 260000 employees i.e. arithmetically one person employed manufactures about 280 tonnes of paper per year. This marked the paper industry as a very capital-intensive branch.

1.5 Environmental issues of the pulp and paper industry

The pulp and paper industry has historically been considered a major consumer of natural resources (wood) and energy (fossil fuels, electricity), including water, and a significant contributor of pollutant discharges to the environment. However, in regions with a well-developed pulp and paper industry, by means of a number of environmental measures for improved emission control, internal as well as external ones, the emissions have typically been reduced by 80-90% or more on a specific basis since about 1980.

For pulp mills the main raw material is a renewable resource (wood). In some countries methods of sustainable forestry have been implemented. In 1996 the overall consumption of pulpwood used for pulping in Western Europe was 119.5 millions m^3 (solid under bark). The consumption of raw materials for papermaking accounted to 81.6 Mt of which 45.9% were woodpulp, 39.3% recovered paper, 14.3% non-fibrous materials (like fillers, dyes etc.) and 0.5% other pulp (cotton, linen, bark, hemp, jute, straw and rags).

There is a development to close up water circuits in pulp and paper mills and a further reduction of discharges can be expected (towards effluent free mills). However, today there are no kraft mills operating full time, which completely recover all bleach plant effluent. One CTMP mill, a Na-based sulphite pulp mill and a few producers of corrugating medium and testliner using recycled fibre have realised zero effluents to water.

Since a few years, there is a debate about minimum-impact pulp manufacturing [Axegård, 1997]. This minimum-impact mill stand for a concept with a broader range of issues and challenges covering minimisation of resource consumption and emissions, minimising cross-media effects, taking into account economic aspects and working environment.

In recent years, pulp mills caused serious emissions of sulphur (acidification) but during the last years especially the sulphur air emissions has been reduced considerably by large progresses of process technology. The recycling of fibres of used paper in Western Europe has reached a quite advanced level and for some paper grades a further increase may be expected. The recovery of energy from wastes from pulp and paper manufacturing processes (rejects, sludge) is possible thereby avoiding a waste disposal problem. But in this respect there is still a high potential for increased use of efficient on-site techniques. For chemical pulping no external energy is needed but the total demand of process energy is still on a high level. Mechanical pulping is the most energy-intensive process because of the electricity demand of the refiners. Also recovered paper processing and papermaking are energy-intensive processes. This is caused by the fact that for papermaking the solid content of a dilute suspension of fibres and possibly fillers has to be brought to about 95% solids as a typical dry solid content in finished papers by means of pressing and drying (evaporation of water).

During the period before the 1970-1980s the pulp and paper industry caused substantial wastewater discharges into receiving waters. The effects observed were sometimes of dramatic character with oxygen depletion and fish kills. From the end of the 1970's until recently, the main emphasis was put on the role of chlorinated substances formed in the bleach plant. Dioxins and Furanes had been detected in some effluents of pulp mills and the public discussion focussed on the harmful effects of chlorine bleaching. The public concern about the potential environmental hazard imposed by the use of chlorine in the bleach plants has brought about a drastic decrease in the use of molecular chlorine as a bleaching chemical during the last decade. The environmental control authorities in many countries have set severe restrictions on the discharges of chlorinated organics measured as AOX into the aquatic environment. A reduction of AOX was achieved by a combination of several measures: The use of molecular chlorine has been largely replaced by chlorine dioxide and introduction of other oxygen-containing chemicals such as molecular oxygen, peroxide and ozone. Due to the strong reduction of the chloride content of the effluents a closure of the mill system and recycling of the bleach plant effluent back to the chemical recovery system of the mill has been made possible. The reduction

of both chlorinated and non-chlorinated organic substances in the effluents of pulp mills has been achieved to a large extent by in-process measures as for instance: increased delignification before the bleach plant by extended or modified cooking and additional oxygen stages, spill collection systems, efficient washing, and stripping and reuse of condensates. Another contributing factor to the decreased emissions of AOX and unchlorinated toxic organic compounds into receiving waters, was the installation of external treatment plants of different designs.

In order to comply with market and environmental demands the current trends within the pulp and paper industry is toward increased closure of the bleach plants either by using ECF (Elementary Chlorine Free) or TCF (Totally Chlorine Free) bleaching of pulp.
In paper mills an increased reuse of treated process waters by implementing production-integrated advanced wastewater treatment systems will be allowed. Wastewater discharges, environmentally friendly handling of wastes, energy saving and recovery and locally smell from kraft pulp mills are expected to remain also future priorities of environmental actions in pulp and paper industry.

1.6 Overview of pulp and paper manufacturing

Paper is essentially a sheet of cellulose fibres with a number of added constituents to affect the quality of the sheet and its fitness for intended end use. The two terms of paper and board (No. 6.1 b, Annex 1 of the IPPC-Directive) generally refer to the weight of the product sheet (grammage) with paper ranging up to about 150 g/m^2 and a heavier sheet regarded as board (paperboard).
The pulp for papermaking may be produced from virgin fibre by chemical or mechanical means or may be produced by the re-pulping of recovered paper (RCF). In the pulping process the raw cellulose-bearing material is broken down into its individual fibres. Wood is the main raw material but straw, hemp, grass, cotton and other cellulose-bearing material can be used. The precise composition of wood will vary according to the type and species but the most important constituents are cellulose, hemicelluloses and lignin.

Wood naturally contains around 50% water and the solid fraction is typically about 45% cellulose, 25 % hemicelluloses and 25% lignin and 5% other organic and inorganic materials. In chemical pulping, chemicals are used to dissolve the lignin and free the fibres. The lignin and many other organic substances are thus put into solution from which the chemicals and the energy content of the lignin and other organics may be recovered. The extent of this recovery is dependent upon the chemical base used and the process configuration. In mechanical pulping processes mechanical shear forces are used to pull the fibres apart and the majority of the lignin remains with the fibres although there is still dissolution of some organics.

Pulps produced in different ways have different properties, which make them suited to particular products. Most pulp is produced for the purpose of subsequent manufacture of paper or paperboard. Some is destined for other uses such as thick fibreboard or products manufactured from dissolved cellulose.

Paper produced by the use of recovered paper as fibre source will involve some cleaning of contaminants prior to use and may involve de-inking depending upon the quality of material recycled and the requirements of the end product the recycling process. The fibres are reusable a number of times depending on the quality of the recycled material and the purpose of the end product. The paper product may also comprise up to 45% of its weight in fillers, coatings and other substances.

There are many different products produced by the papermaking industry and can be broadly categorised as follows:

- Newsprint
- Uncoated printing and writing papers
- Coated printing and writing papers
- Packaging papers
- Packaging paper boards*
- Liner and fluting
- Tissue
- Speciality papers

* From high quality finished cardboard to a range of qualities of cardboard packaging

Each of these categories demands specific properties of the product and the most appropriate manufacturing route to these products may differ substantially. For instance, newsprint is a product required in high volume on a regular basis but is only required to have moderate strength, opacity, printability and a relatively short life. Thus a manufacturing route which involves a high yield of pulp at the expense of maximum achievable strength, brightness and texture can contribute to the efficient use of raw materials.

In contrast, the critical quality of packaging papers is their strength if they are to be fit for their intended use. In this case it is necessary to accept a lower yield inherent to a different manufacturing route in order to achieve this strength. Printing and writing papers need a different balance of brightness, texture and strength, and some can be required to last for great many years. Tissue papers are made to have good dry and wet strength for their weight and typically will be used once and not re-enter the fibre cycle.

1.7 Classification of pulp and paper mills

The high degree of process-integration in pulp and paper industry implies that the concept of BAT must be related not only to separate processes, systems or lines, but also to the whole integrated units. For instance, in order to reduce effluent volumes, water has to be recirculated typically from the paper mill to the pulp mill in addition to internal loops in both parts of a mill.

At the same time, a certain product may be manufactured through various different processes and systems and it may be equally relevant to compare such different options, although based on quite different processes, when considering BAT. For instance, newsprint may be manufactured from several different pulp sources such as stone groundwood (SGW), pressurised groundwood (PGW), thermomechanical pulp (TMP), refiner mechanical pulp (RMP), chemithermomechanical pulp (CTMP), sulphite pulp (Si), bleached softwood kraft pulp (BSKP), and/or deinked pulp (DIP). Different furnishes will of course give rise to different emissions.

As pulp and paper products are highly diverse and applied processes even for one and the same product may vary greatly, many factors of production technology must be taken into account to guarantee a high level of environmental protection. The best techniques for the pulp and paper industry cannot be defined solely by describing unit processes. Instead, the whole installations must be examined and dealt with as entities.

In a document supplied by Finland to the EIPPCB [J. Pöyry, 1998 b], a proposal was made how to classify the pulp and paper industry operating in the European Union by distinguishing the technical properties of the installations and their product range. Following this proposal, the technically diverse installations in the EU area are presented using a grouping of 9 main classes. This classification scheme is product-orientated i.e. distinguishes BAT for different pulp and paper products.

In Figure 1.1 the relationship between the amount of mills and capacities on a European level according to this classification is illustrated.

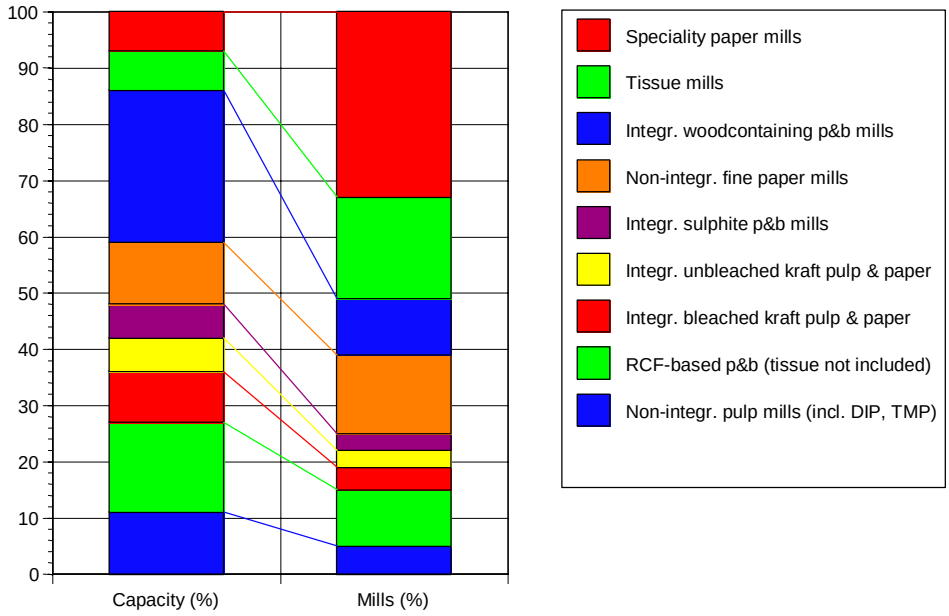


Figure 1.6: Capacities versus amount of mills in Europe
[According to J. Pöyry, 1998; changes made by EIPPCB]. In this study the 9 main classes of the classification scheme are further subdivided in 33 subclasses according to different end products

However, In the European paper industry there is a trend to use a mixture of raw materials as fibre furnishes (e.g. mixture of different types of virgin fibres and recovered fibres). There are also a lot of mills in Europe that are only partly integrated or use fibre mixtures, which are not covered by the proposal. For example there are tissue mills using 10%, 20%, 30% and so on till 90 or 100% of recovered fibres. These mills can not only be described on a product-orientated level. Furthermore, several of the mills are conglomerates giving problems in allocating the total discharges to the different pulp and/or paper types produced when they are not strictly described on a process level as proposed within the BREF.

The process of pulp and papermaking consists of quite many stages. Besides the fibrous material different chemicals and a great amount of water and energy in the form of steam, fuel oil or electric power is required in the process. The wide range of processes involved in the manufacture of pulp and paper can be broken down into a number of unit operations for the sake of discussion. A sequence of operations can be described from raw materials to product but individual processes will not involve all the operations and some are mutually exclusive alternatives.

Bearing in mind that there is no single right or wrong proposal but only reasonable and manageable proposals preference were given to classifying the European Paper industry as described below. To obtain clearer arrangements of the variety of processes involved, the most important pulp, paper and board manufacturing processes are described separately for five main classes that are described in separate chapters in this document. The main types of pulp and paper manufacturing are sub-divided in several sub-classes. The proposed structure of the European pulp and paper industry and the composition of the BREF are shown Figure 1.7. It strikes after a description of the major differences of pulp and paper production from an environmental-point-of-view:

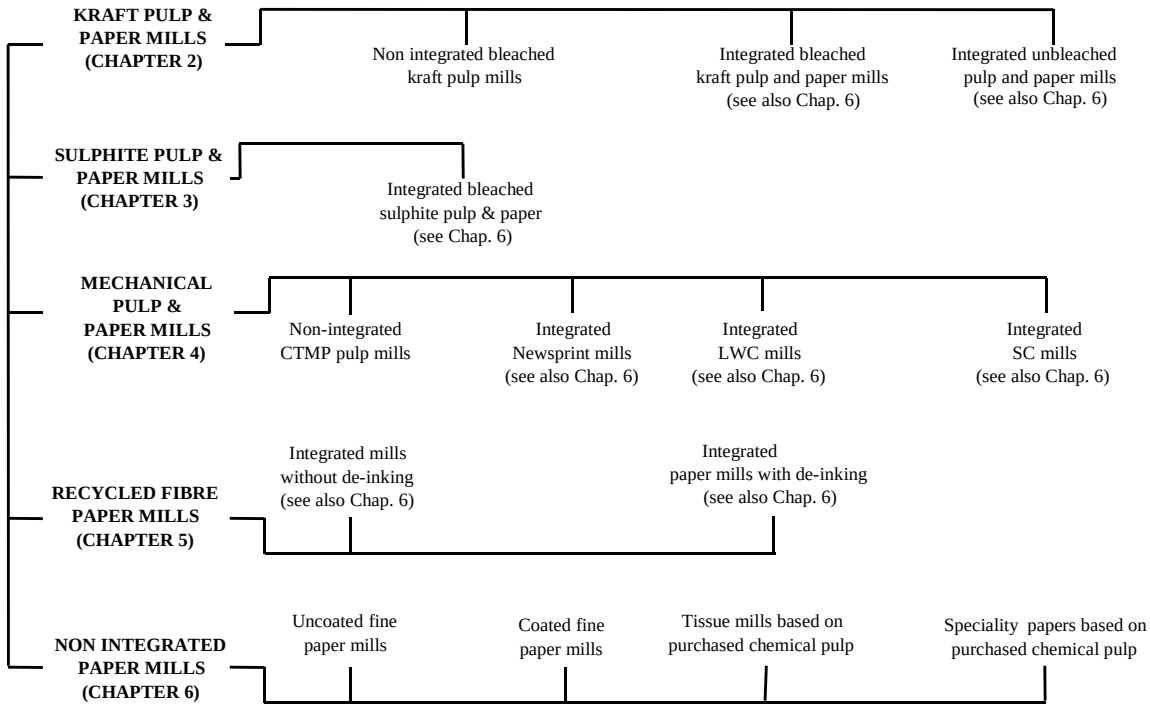


Figure 1.7: Classification of pulp and paper mills proposed by this document including cross-references to the relevant chapters for those mills

The kraft pulping process is described in Chapter 2. Within kraft pulping emission levels associated with the use of BAT for bleached and unbleached grades are distinguished. The BAT emission levels for non-integrated and integrated kraft pulp mills are both given in this chapter. The impact of the paper mill can be regarded as included for water discharges within the uncertainties given. On the other hand, as paper drying is more energy consuming than pulp drying figures for energy consumption and air emissions will differ between integrated and non-integrated pulp mills. These aspects are discussed in this chapter. However, the corresponding sections of the papermaking chapter (Chapter 6) have to be considered when determining BAT for integrated kraft pulp and paper mills (available techniques for papermaking). Some process steps of kraft pulping are similar for all ways of pulp manufacturing (e.g. wood handling, drying) and are therefore described only once and references to other parts of the documents are given.

The sulphite pulping process is described in Chapter 3. The sulphite process is much less uniform (e.g. different bases and pH-values) than the kraft pulping process which makes it more difficult to select BAT. The description is concentrated on the major sulphite pulping process in Europe, the magnesium sulphite pulping. Some additional information on NSSC and dissolving pulp will also be given in this chapter.

Mechanical and chemi-mechanical pulping is described in Chapter 4. Groundwood pulping, TMP and chemi-mechanical pulping (CTMP) has been distinguished. Most mechanical pulping is integrated with paper manufacturing. Therefore, the emission levels associated with the use of BAT for both mechanical pulping and papermaking are given in the Chapter 4. However, the corresponding chapter on papermaking (Chapter 6) has to be taken into account to identify the techniques to consider in the determination of BAT for integrated mechanical pulp and paper mills. Cross-references are given to other sections of the document to consider.

Recycled fibre processing is described in Chapter 5. BAT associated levels for processes with and without de-inking are distinguished thereby discussing some further differences in recovered fibre preparation as for e.g. tissue, LWC/SC, carton-board. The emission levels associated with the use of BAT presented are referring to integrated pulp and paper mills because most recovered fibres based mills are integrated mills. The corresponding chapter on papermaking (Chapter 6) has also to be taken into account. There, the techniques to consider in the determination of BAT as far as papermaking is concerned are described. Cross-references are given to the sections to consider.

Papermaking and related processes is described in Chapter 6 for the major paper grades being manufactured in European paper mills. Paper manufacturing at a site of its own (non-integrated paper mills) is dealt with in this separate chapter because, in numbers, most of paper mills in Europe are those mills. There is a certain overlapping to integrated pulp and paper mills that manufacture pulp and paper at the same site. Cross-references are given in those cases to the relevant sections.

No specific information on techniques to consider in the determination of BAT for board manufacturing was provided. Therefore, the document gives no separate description of the production of board. From environmental-point-of-view, the most important differences are between tissue and other paper grades and also between coated paper and board compared to uncoated paper and boards. Thus the following grades where distinguished within Chapter 6:

- Coated printing and writing paper as for instance coated fine paper used for printing, writing and copying
- Uncoated printing and writing paper as for instance uncoated fine paper.
- Tissue paper mills
- Speciality paper mills

This group (mainly woodfree paper grades) is at the same time the major types of non-integrated paper mills in Europe. Of course, there are also integrated paper mills within that group.

Speciality paper mills is an extremely diverse grouping, which covers a high amount of different products. Speciality paper mills are often producing with more than one change of type per working day. Many speciality paper mills are also non-integrated paper mills. Because of its variety of products no emission levels associated with the use of BAT will be presented for speciality paper mills. The different products have their specific "environmental problems". The values and explanations presented in the BAT chapter should be taken as examples about emission levels to be expected from some types of speciality paper mills. They are not regarded as to cover the whole group of speciality papers completely.

1.8 Presentation of BAT

To avoid repetition, some general remarks on the selection of BAT apply across the pulp and paper sector.

For describing best available techniques for pulp and paper industry the following aspects have to be considered:

- There is no single reference of best available techniques in pulp and paper industry. In contrast, the list of techniques to consider in the determination of BAT provides a lot of different options of an overall BAT for given mills, which may be combined in different ways.

- The BAT-concept is process-related because the environmental impact is caused on this level i.e. by different manufacturing processes as for instance cooking, bleaching, de-inking, coating etc. The single processes, the raw materials used and the product properties to be achieved determine the emission of a mill. That means when approaching the pulp and paper industry different types of raw materials used and processes involved have to be distinguished.

- As pulp and paper products are highly diverse and utilised processes even for one and the same product may vary greatly, many factors of production technology must be taken into account to guarantee a high level of environmental protection. For the pulp and paper industry the best available techniques cannot be defined solely by describing unit processes. Instead, the whole installations must be examined and dealt with as entities. BAT in pulp and paper industry is linked to the environmental performance of mills.

- There are different options for suitable combinations of processes depending - besides other things - on the product properties to be achieved. As a consequence, the process-oriented approach has to be extended by a product-oriented concept i.e. the BAT approach must be linked to the environmental performance of specific types of mills where specific products are manufactured. Thus, in this document best available techniques are presented for major mill classes separately (see Section 1.7).

Instead of single distinctive values the environmental performance of paper mills is expressed as a range of values. This reflects that the manufacturing of different paper grades requires different quantities and qualities of raw materials (e.g. kraft pulp, different groundwoods, mixture of furnishes etc.), with the consequence that emissions per end product are of different levels. To a certain extent, higher emissions caused by the use of more polluting raw materials or processes respectively can be compensated by higher efforts for pollution prevention and control. Presenting ranges considers also that emissions vary with time to a certain extent, e.g. between years, even if the same techniques have been used.

There may be a numerous number of mills that have concentrated first on emissions to water and water consumption and then on air achieving very good performance in the former. They might be less performing in solid waste reduction. But following the objective of IPPC mills should try to run and control the whole system in an integrated manner to reduce emissions and the impact on the environment as a whole. Following the integrated approach it is evident that BAT levels can be achieved in different ways, i.e. there are several options to achieve similar emission levels.

The final choice of a suitable combination of pollution prevention and control measures is generally somewhat different in existing mills and new mills. Furthermore, for existing mills the installation of BAT is in general more expensive. This is due to limitations in changing already fixed lay out solutions, retrofitting costs when the plant is in full operation (downtime costs) and the fact that some techniques may be used a shorter time period than within new mills (shorter

depreciation time). But beyond that and except of possible limitations in space for existing mills, the best available techniques given below are, if not stated otherwise, applicable to existing and new mills.

It should be noted that the lack of harmonisation in the methods of analysis used in Europe and the variations in the utilised process systems and fuels make the direct comparison of the emission levels between countries sometimes difficult. In the context of the information exchange on BAT there is a need to improve the comparability of data concerning environmental performance of mills.

In general prevention is the most effective and preferred measure to reduce emissions. Besides prevention, emission reduction can be achieved by implementing technologies in the process. Finally, there are a few end-of-pipe techniques for pollution control available.

2 THE KRAFT (SULPHATE) PULPING PROCESS

The sulphate or kraft process accounting for ca. 80% of world pulp production is the most applied production method of chemical pulping processes. The importance of the sulphite process has decreased steadily over the last years. Today, only 10% of the world production are obtained by this method. The term “sulphate” is derived from the make up chemical sodium sulphate, which is added in the recovery cycle to compensate for chemical losses. In the chemical pulping process the fibres are liberated from the wood matrix as the lignin is removed by dissolving in the cooking chemical solution at a high temperature. Part of the hemicellulose is dissolved as well in the cooking. In the kraft pulp process the active cooking chemicals (white liquor) are sodium hydroxide (NaOH) and sodium sulphide (Na_2S). As a result of the large amount of sodium hydroxide used, the pH value at the start of a cook is between 13 and 14 (alkaline pulping process). It decreases continuously during the course of cooking because organic acids are liberated from lignin and carbohydrates during the pulping reaction.

Today the kraft process is the dominating chemical pulping process worlwide due to the superior pulp strength properties compared with sulphite process, its application to all wood species, as well as to the efficient chemical recovery systems that have been developed and implemented. But the chemistry of the Kraft process carries with it an inherent potential problem of malodorous compounds.

As a result of chemical reactions in the cooking stage, chromophoric groups of the residual lignin are formed thus causing the pulp to become darker in colour than the original wood. Because of the higher pH, the Kraft pulping process induces more chromophores than sulphite pulping and unbleached Kraft pulp has a considerably lower initial brightness than unbleached sulphite pulp.

2.1 Applied Processes and Techniques

Figure 2.1 gives an overview of the processes of a kraft pulp mill [SEPA-Report 4713-2, 1997].

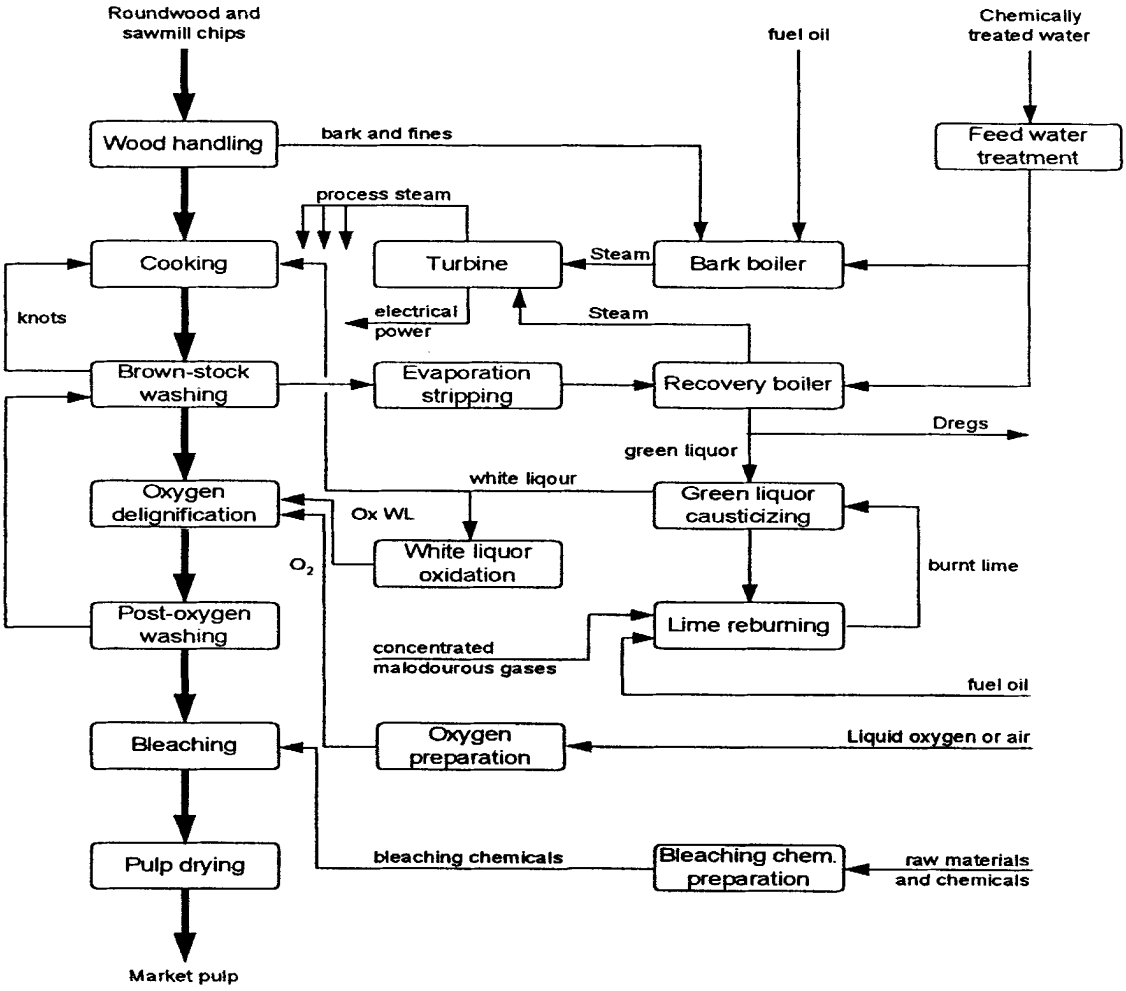


Figure 2.1 Overview of the processes of a kraft pulp mill [SEPA-Report 4713-2, 1997]. Often there is a screening after bleaching, too

A kraft pulp mill can be divided into four main parts: raw material handling, chemical defibration (delignification) with almost completely closed chemical and energy recovery system, bleaching with an open water system and the process external wastewater treatment system. Another more conventional division is the fibre line, recovery system and external wastewater treatment. Some auxiliary systems like reject handling, manufacturing of bleaching chemicals and auxiliary power generation are connected to the main departments.

2.1.1 Reception and storage of wood

Wood may be received as logs directly from the forest or as by-product chips from some other wood working industry like sawmills and plywood mills. Logs are mainly delivered with the bark on and have to be debarked before further processing. Chips are normally free of bark and can be used after screening and possibly washing. The wood is transported to the mills by ship, truck or rail but also to a limited extent by floating logs to the mill site. Where the latter is used, there will be some leaching of resin acids and nutrients while the wood is in contact with water.

Mechanical pulping techniques may use either logs or chips but chemical pulping techniques will always use chips. The objective in chipping is to form uniform sized chips, which will result in a better pulp product. Some chemical pulp mills store wood chips in piles for up to 40 days during which time there is some degradation of extractives within the wood by oxidative and enzymatic mechanisms. The pile of wood chips can become quite warm during this maturation period. Storage for greater than 40 days would be expected to reduce the subsequent fibre yield. Mechanical pulping on the other hand requires fresh wood and in all cases it is desirable to maintain the moisture content of the wood.

2.1.2 Debarking

The most common method for debarking is drum debarking. Bark is removed as the logs rub against each other when made to tumble by the rotating action of the debarking drum. Loose bark and wood sticks fall from the drum through special chutes. Debarked logs are showered with water before being delivered to the pulp mill.

The wet debarking process uses large volumes of water. In recent years “dry” debarking has been installed in many mills. Dry debarking give bark with lower water content, which will result in a better energy balance for the mill if the bark is burnt.

In Nordic Countries frozen logs and snow are thawed before debarking. This can be done in the debarking drum with hot water or steam or on special de-icing conveyors before the debarking drum.

Bark from the debarking unit is typically fed into a bark shredder and, if wet, pressed for burning. Some alternative uses for the bark exist and in some cases it is sold off site but the sheer volume involved in large installations favours on site disposal and energy recovery.

2.1.3 Wood Chipping and Screening

For chemical pulping processes the logs are reduced to chips in a chipper. A uniform chip-size distribution is necessary for the efficiency of the processes and for the quality of the pulp. The more uniform the chips are after the chipper, the lower the raw material consumption. After the chipper station the chips are screened in order to remove oversized chips and sawdust. However, sawdust can also be cooked together with chips or separately in a sawdust cooker, or it can be burnt or used for other purposes. Oversized chips may go for re-processing in a crusher or re-chipper. Chips are screened for thickness, as this is a critical parameter both in chemical and mechanical pulping. Often the overall optimum is reached by sacrificing some raw material to secure stable processing conditions, which, in turn, promote better pulp quality and less pollution. The material removed in the screening operation can be sold for other purposes or burnt in a solid fuel boiler with the heat recovery.

2.1.4 Cooking and delignification

In the Kraft process the fibres are liberated in the cooking plant by dissolving the lignin and part of the hemicellulose in the cooking chemical solution (white liquor), which contains sodium hydroxide and sodium sulphide as active chemicals. When the final product is unbleached pulp, the cooking is the only delignification stage.

The cooking process can be performed either in batch digesters or in a continuous digester. When using batch processes, in the cooking stage the wood chips and the liquors are charged into a batch digester where the cook is carried out in elevated temperature and pressure. When

the desired residual lignin content (measured as Kappa number) is reached, the contents are discharged to a blow tank and the cooking cycle is repeated. The amount of lignin that remains in the pulp can be determined approximately by multiplying the kappa number by the factor 0.165 [Uhlmann, 1991] i.e. a kappa number of 30 relates to about 4.95% residual lignin.

The cooking can also be carried out in a continuous digester (see Figure 2.2) where the wood/chemical charge and retention time as well as the temperature in the cooking zone defines the resulting lignin content. The chips are pre-heated by steam before entering the continuous digester in order to remove air, which interferes with the impregnation. After entering the digester, the chips are impregnated with cooking liquor and the temperature raised to 155 - 175°C. The cooking time at the maximum temperature is in the range of 1-2h. In conventional cooking the delignification of softwood (spruce or pine) can be brought down to a Kappa number of 30 - 35 whilst maintaining acceptable pulp strength properties. For hardwood (aspen, birch and eucalyptus) the Kappa number can be brought down to 14 - 22 [CEPI, 1997].

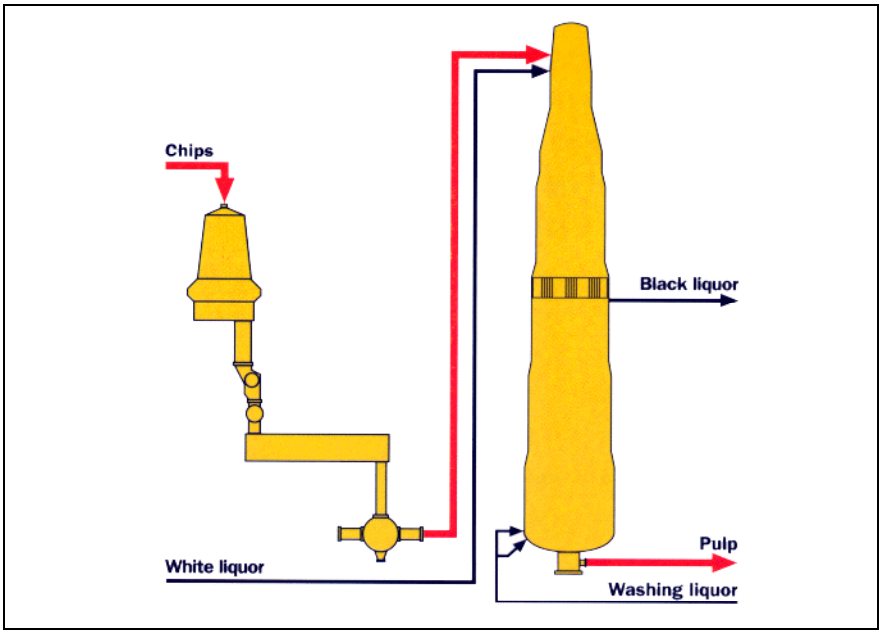


Figure 2.2: Continuous digester

As a result of the poor bleachability of kraft pulps and the pollution caused by pulp bleaching, several cooking modification methods have been developed with the aim of removing more lignin from the wood during cooking without reducing the yield. The Kappa number from the cooking of softwood can be reduced to a level of 15 - 25 through extended delignification [Finnish BAT report, 1996], while the yield and strength properties are still maintained. This means that 25 - 50% less lignin is left in the pulp compared with pulp that has a kappa of 32. The requirements for any subsequent bleaching chemicals are, therefore, reduced and the effluent discharges from the bleaching plant are decreased. Comparable kappa reductions can be achieved in the cooking of hardwood (see also 2.1.6).

2.1.5 Washing and screening

The pulp coming from the digester contains both fibres and spent cooking liquor (black liquor). About half of the wood is dissolved in the cooking. Consequently the black liquor contains inorganic chemicals and a large amount of organic substances. The black liquor is removed from the pulp in the subsequent washing and led to the chemical recovery system, where cooking chemicals and energy are recovered.

The dissolved organic substances together with the spent cooking chemicals are washed away from the cellulose fibres in the brown stock washing stages. Modern systems normally recover at least 99% of the chemicals applied in the digester. Washing the pulp coming from a conventional batch digester plant is normally carried out with drum washers, while a continuous digester plant utilises the Hi-heat wash zone in the digester with additional drum washers or diffuser washers. In today's batch as well as continuous cooking fibrelines, washing starts already in the digester by displacing hot black liquor with cold wash liquor. Subsequent washing is carried out in various types of washing equipment, e.g. vacuum drum washers, wash presses, diffusers or wire type washers.

Efficient washing reduces the carry-over of black liquor with the pulp resulting in a decreased consumption of chemicals in bleaching and reduced discharges from the bleaching plant. Efficient washing reduces chemical consumption also in oxygen delignification. The outcome of the washing is highly dependent on the efficiency of the equipment used, the outlet consistency of the pulp and the amount of wash water applied. However, if washing is improved by increasing the amount of wash water, the demand for steam will increase in the subsequent stage to evaporate and concentrate the black liquor.

Wash presses and diffuser washers are especially effective in the removal of dissolved organic substances, and this is one reason why wash presses have become more common, especially as the last washing stage before bleaching. Washing with the longest delay can be achieved in a diffuser type of equipment. Adding carbon dioxide to the wash water will improve the washing effect.

Before further processing, the pulp is screened with pressure screens and centricleaners. The objective of screening is to separate knots and fibre bundles from the main pulp stream with a series of vibrating equipment, filtration through pressure screens and centrifugal separation of fibres and other particles with different specific weights. Rejects from screening constitute a further waste stream to be dealt with.

2.1.6 Oxygen delignification

After cooking, delignification can be continued by oxygen in one-stage or in two stages with or without intermediate washing. Oxygen delignification can be combined with conventional and extended cooking.

Oxygen delignification takes place in alkaline conditions. In order to maintain the sodium balance of the mill, the oxygen stage normally uses the oxydised white liquor, where sodium hydroxide is the main alkaline chemical and sodium sulphide has been oxidised to thiosulphate. Due to relatively low solubility of oxygen to the alkaline liquor, the delignification reactor is pressurised and the temperature is elevated to about 100 ºC. In oxygen delignification magnesium salt ($MgSO_4$) is added in order to preserve the strength of the pulp. The oxygen is mainly purchased but also some on-site plants are in operation. Because of better selectivity and lower investment costs the Medium Consistency (MC, 10-15%) system has dominated mill installations for the past ten years but high consistency installations (HC, 25-30%) are in use as well. Recently the industry has opted to install two-stage oxygen delignification systems to increase the selectivity of the treatment. Oxygen delignification is usually an intermediate stage in the pulp washing. The wash water is added onto the last washing stage after oxygen delignification and led counter-current to the pulp flow. Washing after oxygen delignification is usually done with one or two wash presses alone or in combination with some other type of washer. The organic material that is dissolved during oxygen delignification can be recovered and led to the chemical recovery system without major changes in the process. The recovery reduces the amount of organic material ending up in the wastewater and the amount of chemicals needed.

The degree of further delignification is 40-50% in a one-stage system and can be up to 70% in a two-stage system [Finnish BAT report, 96]. The Kappa number after conventional cooking and oxygen delignification is typically 18-22 for softwood and 13-15 for hardwood without extended delignification (CEPI, 1996). Depending on the wood species, oxygen delignification with extended cooking can achieve a reduction in Kappa number to around 8 - 12. The overall pulp yield might decrease by 1.5 - 2.5% and there is still lignin left that has to be removed by other means when high brightness pulp is demanded. The table below summarises kappa numbers currently achieved with different delignification technologies.

Delignification Technology	Hardwood	Softwood
Conventional Cooking	14 - 22	30 - 35
Conventional Cooking and Oxygen Delignification	13 - 15	18 - 22
Extended Cooking	14 - 16	18 - 22
Extended Cooking and Oxygen Delignification	8 -10	8 - 12

Table 2.1: Kappa numbers currently achieved after different technologies used

The reduction of the Kappa of unbleached pulp (brown stock), whether it is achieved through extended digester delignification, oxygen delignification or some other method, will reduce the load of bleaching-plant pollutants that enter the external effluent treatment system. This is because dissolved substances are piped to the recovery system and then burned in the recovery boiler.

2.1.7 Bleaching

The purpose of bleaching chemical pulp is to obtain certain pulp quality criteria with respect to brightness, brightness stability, cleanness and strength. The brightness of unbleached Kraft pulp is rather low, below 30% ISO whereas fully bleached pulp has a brightness of 88% ISO or higher. Cooking and oxygen delignification cannot remove all the lignin and to achieve this brightness it is necessary to remove or oxidise the remaining lignin and impurities in the pulp. The Kappa number after bleaching is reduced below 1 unit [CEPI, 1996]).

Whereas delignification can be carried out within closed water systems bleach plants tend to discharge effluent to external treatment. These effluents from the bleach plant cannot easily be recirculated into the chemicals recovery mainly due to the fact, that these bleach plant effluents would increase built-up of chlorides and other unwanted inorganic elements to the chemical recovery system which can cause corrosion, scaling and other problems. Nevertheless, there are running projects on how to close up the bleach plant and some plants are operated with semi-closed water systems.

The bleaching of kraft pulp is carried out in several stages, usually four to five. The most commonly used chemicals are chlorine dioxide, oxygen, ozone and peroxide. Lately, peracetic acid has become commercially available as bleaching chemical. Chlorine and hypochlorite have largely been phased out as primary bleaching chemicals over recent years (e.g. PARCOM Decision on the Phasing-Out of the Use of Molecular Chlorine (Cl_2) in the Bleaching of Kraft and Sulphite Pulp). Small amounts of chlorine are formed as a by-product in most of the chlorine dioxide generation systems used, and a part of this chlorine will be present when chlorine dioxide is used in bleaching. Chlorine dioxide and ozone have to be produced on site (see Section 2.1.11). Peroxide, oxygen and alkali can be delivered to the mills.
Ozone is a very reactive bleaching agent whilst chlorine dioxide, oxygen and hydrogen peroxide are less reactive. Because of the different reaction mechanisms different types of bleaching chemicals are utilised in a bleaching sequence. Acid and alkaline stages are used to complement each other.

Peroxide bleaching is relatively slow and requires long reaction times and therefore large reactor volumes or increased pulp consistency. Increased pressure makes higher reaction temperatures possible, resulting in a reduced reaction time or improved bleaching outcome. It is necessary to remove metal ions to avoid degradation of the hydrogen peroxide by using metal chelating agents (i.e. EDTA or DTPA) or acid washing. An advantage with peroxide compared with the other oxygen bleaching chemicals is that peroxide bleaching at optimal conditions brightens the residual lignin.

Enzyme treatment before bleaching has been in use at some plants since 1991. It can be combined with different bleaching sequences to enhance the effectiveness of the chemicals used but typically results in a small loss of yield.

A bleach plant consists of a sequence of separate bleaching stages with different chemicals added. Each bleaching stage consists of:

- devices for mixing the chemicals and the pulp
- a bleaching reactor (upflow or downflow towers) designed with a suitable residence time for chemical reactions
- washing equipment for separation of used chemicals, removed lignin and other dissolved material from the pulp (drum washer or diffuser washer)

The bleaching stages are designed using symbolic shorthand according to the bleaching agent applied:

Q	Acid stage where chelating agent EDTA or DTPA has been used for removal of metals
Z	Ozone using gaseous ozone (O_3)
P	Alkaline stage with hydrogen peroxide (H_2O_2) as liquid
D	Chlorine dioxide stage using a water solution of chlorine dioxide (ClO_2)
E	Extraction stage using sodium hydroxide (NaOH)
E/O	Extraction stage using sodium hydroxide with subsequent addition of gaseous oxygen as a reinforcing agent
E/P	Extraction stage using sodium hydroxide with subsequent addition of hydrogen peroxide solution as a reinforcing agent

Nowadays an oxygen delignification has become more and more common delignification stage followed by bleaching sequence of D-E-D-E-D, D-E-D-D, D-EOP-D-E-D or QP-DQ-PO.

Some mills have responded to the market demands of Totally Chlorine Free (TCF) pulps by modifying the bleaching sequence. Nowadays, TCF is an established technology. A number of mills have the possibility of producing ECF- of TCF-pulps depending on the market situation. New sequences have been and are being developed, such as Q-E/P-E-P, Q-Z-P-E-P, OP-ZQ-PO or OP-Q-PO [CEPI, 1997].

The introduction of extended cooking and oxygen delignification have resulted to more efficient recovery of organic substances and allowed also development of use of other chemicals in bleaching and minimisation of use of chlorine chemicals. As a consequence, the total amount of organic compounds and total amount of chlorinated organic compounds have been reduced significantly.

The two main types of bleaching methods in use are so-called ECF (**E**lemental **C**hlorine **F**ree i.e. when no molecular or gaseous chlorine is dosed in the bleaching) and TCF (**T**otally **C**hlorine **F**ree) bleaching. ECF bleaching uses chlorine dioxide, alkali for the extraction of dissolved lignin, peroxide and oxygen for the reinforcement of the extraction stages. TCF bleaching uses oxygen, ozone or peracetic acid and peroxide with alkali for lignin extraction. Selectivity is important as far as the total yield and pulp quality is concerned because high selectivity means that the bleaching chemical is primarily reacting with the lignin. Chlorine dioxide and chlorine

are the most selective bleaching agents and selectivity is better in the bleaching stage than in cooking and oxygen delignification.

TCF bleaching requires a low incoming Kappa for the pulp (10 - 12) to attain full brightness and good strength properties because of the power of the bleaching chemicals and fibre degradation during bleaching although a final brightness of 89% ISO is achievable with TCF bleaching without yield loss. A larger amount of residual lignin remains in TCF bleached pulp than in ECF bleached pulp and this residue has to be stabilised to minimise yellowing after production. ECF bleaching can be done on a pulp with a higher Kappa.

The discussion about ECF vs. TCF bleaching

Over the last 10 years there were an intensive discussion and research on the environmental benefit of TCF compared to ECF. The evaluation of results of research and of synthesises of the great amount of laboratory and model ecosystem tests as well as field studies with whole mill effluents from bleached kraft mills (BKME) can be summarised as follows:

- The chemical composition of the effluent from modern kraft mills using low-kappa ECF or TCF bleaching of oxygen-delignified low-kappa pulp has largely changed in comparison with the situation 10-15 years ago, even if the operational standard of the individual mills is of major importance for the amount and quality of emissions [SEPA Report 4785, 1997]
- Modern mills with low-kappa ECF bleaching give very low emissions of chlorinated organic substances and high-chlorinated phenolic compounds generally cannot be detected in the effluent [ibid.]
- A comparison of toxic responses of bleach plant and whole mill effluents from mills using different schemes for non-chlorine bleaching, i.e. low-kappa ECF versus TCF bleaching, shows that neither technical concept invariably produces effluents with a lower toxic potency [FEI, 1996]. No clear difference in the effect pattern and effect intensity between effluent from mills using low-kappa ECF (chlorate reduced) and TCF bleaching has been detected.
- Relative merits of low-kappa ECF versus TCF (or vice versa) are not consistent due to different experimental strategies in test procedures and also to non-bleaching factors within the different mills as e.g. the operational standard of the mill [ibid.]
- Secondary treatment of effluents usually tends to decrease the toxicity of the effluents and according to model ecosystem studies effects on ecosystem level are mitigated after external treatment [ibid.]
- Recent model ecosystem studies have indicated a correlation between effluent COD and the effects observed. These findings suggest that it is not a question of whether to use ECF or TCF as the choice of bleaching, but rather to improve the pulping operation in itself [ibid.]. Thus, the amounts of fatty acids, resin acids and sterols in effluent from modern kraft mills are affected more by the fibre raw material or by contributions from the unbleached side rather than from the bleaching process [SEPA Report 4785, 1997]
- A TCF bleaching sequence is the more advantageous alternative for further system closure. However, the use of totally chlorine-free bleaching chemicals requires an extensive removal of the metals (such as manganese, iron, copper ions) out of the pulp due to their negative impact on the peroxide bleaching. This removal is usually effected by a chelating treatment or an acid wash of the pulps. There is a discussion about the environmental compatibility of chelating agents, because under normal conditions they are poorly biodegradable. There are developments to reduce the disposal of filtrates from chelating stages into the environment (see Section 2.5.3).

2.1.8 Bleached Stock Screening

After bleaching there is generally a final screening of pulp. Secondary screening takes place with the same type of equipment than the screening of unbleached pulp.

2.1.9 Drying

In an integrated pulp and paper mill, the pulp stock will be transferred forward to papermaking in a wet state (at about 4% consistency) and the accompanying water forms part of the overall water balance of the mill. For a non-integrated pulp mill where the pulp is not used for manufacturing of paper at the same mill site the pulp will be first pressed and then dried for transport. Drying machine consists of a wire part similar but simpler than wire part of a paper machine for initial dewatering of the pulp. After dewatering stage the pulp is dried with steam in a multi-stage drying part of the machine. After cutting into sheets bales for shipment are formed.

2.1.10 Chemical and Energy Recovery System

The recovery system in a kraft pulp mill has three functions:

- the recovery of the inorganic pulping chemicals
- the destruction of the dissolved organic material and recovery of the energy content as process steam and electrical power
- the recovery of valuable organic by-products (e.g. tall oil).

The fuel value of the recoverable black liquor is normally enough to make the kraft pulp mills more than self-sufficient in heat and electrical energy. Organic by-products play a limited economic role in most kraft pulp mills.
The main process units in the chemical recovery system are the evaporation of the black liquor (cooking liquor and counter current washing liquor, incineration of the evaporated liquors in a recovery boiler and causticizing, including lime regeneration.

An overview of the circuits of chemicals is presented in Figure 2.3 [BMU Austria, 1995] illustrating the main process steps and their functions.

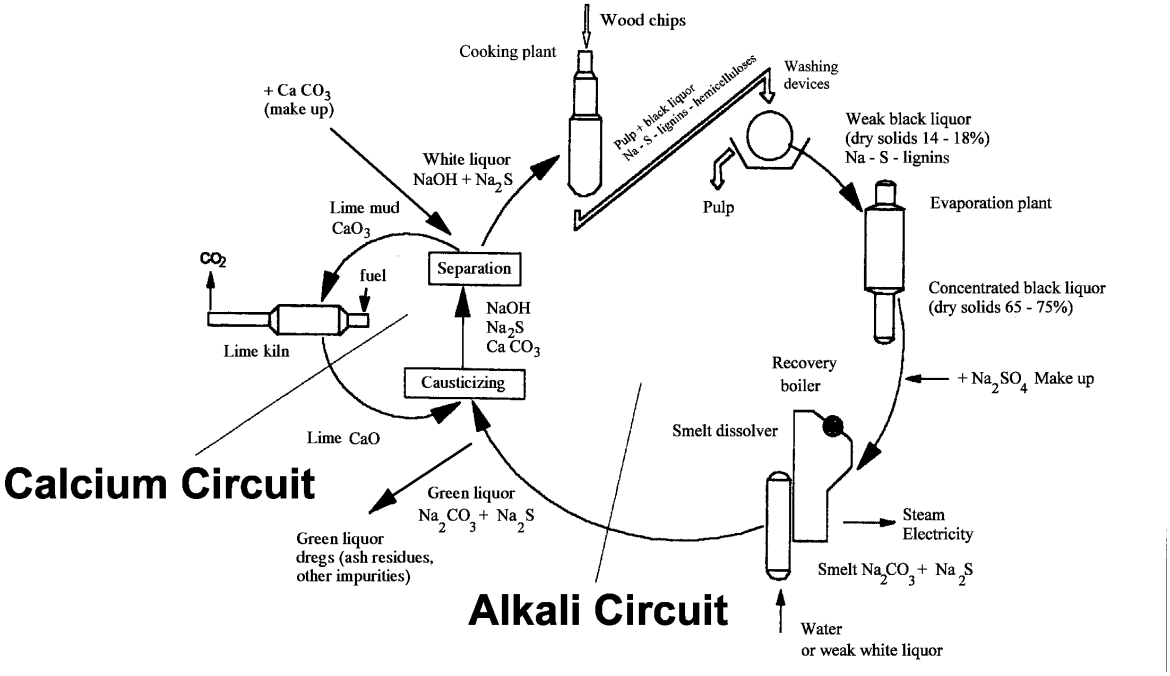


Figure 2.3 Recovery cycles of chemicals for a kraft mill

Black liquor from pulp washing normally has a dissolved solids content of 14 - 18% which has to be increased considerably before the liquor can be burnt. The liquor is concentrated in a multi-effect evaporation plant to a dry-solids content of 65 - 75% but as the dry-solids content increases, the viscosity of the black liquor increases and may become too high for pumping. At atmospheric pressure the upper limit is about 72 - 74% DS but two different principles are used to overcome the problem:

- pressurising the liquor, so that at a higher liquor temperature lowers the viscosity;
- changing the liquor rheology through a thermal depolymerization process.

The liquor can be concentrated to over 80% DS by using heat treatment on the strong black liquor and pressurised evaporation. In heat treatment some of the combustible material separates as non-condensable gases (NCG) which contain Total Reduced Sulphur (TRS). These gases are collected and burnt together with other malodorous gases.

Condensates from the black liquor evaporators and the cooking plant will vary in their degree of contamination according to origin but will typically contain TRS, methanol and some other volatile organic compounds. They are treated in a stripper column that is normally integrated with the black liquor evaporation by using secondary (or primary) steam. Stripping condensates makes it possible to reuse the condensate in washing unbleached pulp and in the causticizing plant.
The concentrated black liquor is burnt in the recovery boiler to recover the sodium and sulphur content in a suitable chemical form to regenerate the pulping chemicals and recover energy from the flue gases.

An increase in the dry-solids content of the black liquor from 65 - 70% to 80 - 85% changes the material and energy balances and the burning conditions in the recovery boiler. The flue gas flow decreases as less water enters the furnace. By increasing the dry-solids content to e.g. over 80% an increase in production or extended delignification with more efficient recovery of the

black liquor can be possible in a mill where the recovery boiler is the production capacity bottleneck. The combustion temperature increases with higher DS feedstock and causes more sodium (Na) to be vaporised which then reacts with sulphur and reduces sulphur emissions from the recovery boiler.

The smelt from the recovery boiler is dissolved in water or weak white liquor to produce "green liquor" which consists mainly of sodium sulphide and sodium carbonate. The green liquor is clarified and causticized with lime where sodium carbonate is converted to sodium hydroxide to produce white liquor for pulping. Ash residues and other impurities are removed from the process as green liquor dregs. The calcium carbonate lime mud from causticizing is separated from the white liquor, washed and calcined in a lime kiln resembling somewhat a standard rotary cement kiln to regenerate the lime. This calcination is a high-temperature, endothermic reaction, requiring external fuel.

The handling and burning of black liquor with a high sulphur content releases sulphur into the air as sulphur dioxide and malodorous gases containing reduced sulphur compounds such as hydrogen sulphide (H_2S), methyl mercaptan (CH_3SH), dimethylsulphide (CH_3SCH_3) and dimethyldisulphide (CH_3SSCH_3).

Strong malodorous gases are collected and generally burnt in a separate burner or in the lime kiln. The latter is less favoured because it might upset the operation of the lime kiln. Flue gases are in most cases treated through a scrubber, and the scrubber water is led back to the chemical recovery system. Some Kraft pulp mills also collect weak malodorous gases to a varying extent. Weak gases are emitted from chip pre-steaming, screening, pulp washing, the smelt dissolver and tank ventilations etc.

2.1.11 Preparation of Bleaching Chemicals on site

The most commonly used chemicals for bleaching of chemical pulps are chlorine dioxide, oxygen, ozone and peroxide. Chlorine dioxide and ozone have to be produced on site. Peroxide, oxygen and alkali can be delivered to the mills.

2.1.11.1 Chlorine dioxide

Chlorine dioxide must be generated on site because it is unstable as a gas and can only be stored as a solution of approximately 1% in water. The gas stable at typical process temperatures of 40 to 70ºC and if the partial pressure of chlorine dioxide is kept below 100 mm Hg for at least five seconds. Once absorbed into solution chlorine dioxide can be stored for several months in the dark at -5ºC without any gas space. Gaseous chlorine dioxide decomposes to chlorine and oxygen and this decomposition is explosive at =300 mm Hg partial pressure.

There are a number of possible reactions to produce chlorine dioxide and some techniques can produce up to 0.7 tonnes of by-product chlorine per tonne of chlorine dioxide whilst others produce very small amounts. In pulp and paper industry chlorine dioxide is formed by acidic reduction of the chlorate ion ClO_3^-.

Sodium chlorate is the common commercial source of the chlorate ion, but the choice of reducing agent has a great bearing on by-products and economics. Reducing agents, which have been used, include the chloride ion, hydrogen peroxide, sulphur dioxide and methanol.

Techniques have evolved over many years in order to maximise the yield of chlorine dioxide from the sodium chlorate, to minimise the formation of by-product chlorine and also to optimise the generation of waste acids. The two main techniques, which produce minimal by-product

chlorine, are the Matheson process that uses sodium chlorate, sulphuric acid and sulphur dioxide; and the more recent SOLVAY derived R8 process, which principally uses sodium chlorate, sulphuric acid, and methanol. Additionally some chloride ion is essential for the generation of chlorine dioxide in all these processes. Table 2.2 gives an overview about different chlorine dioxide generation methods.

	MATHIESON	R3	R3H	R5	R6	R7	R8	LURGI R6
Input chemicals (t/t CLO_2)								
$NaClO_2$	1.75	1.6	1.68	1.75		1.68	1.65	
NaCl		8				0.35	0.03	1.08
H_2SO_4	1.30	1.1	0.80			0.40	1.10	
HCl		5	0.70	1.40				
SO_2	0.75	1.7				0.40		
CH_3OH		3					0.15	
Cl_2					0.80			
E1 power (MWh)					8.50			
By products (t/t ClO_2)								
Na_2SO_4	1.20	2.3	1.20			1.60		
H_2SO_4	1.60	0						
$Na_3H(SO_4)_2$							1.30	
Cl_2	**0**		0.70	0.80	0.30	0.20	**0**	0.10
H_2		0.7			0.05			
NaCl		0		0.95				
NaOH								0.70

Table 2.2: Chlorine dioxide generation methods in use in Finland [Finnish BAT report, 1997]

It can be seen that only "Mathieson" and the so-called "R 8" technique does not produce chlorine as by-product.

Ideally any by-product sodium and sulphur from the generation of chlorine dioxide could be taken into the pulp mill as make-up chemicals and there would be very little or no effluent. However, if sodium or sulphur is produced in excess of the mill make-up requirements, they have to be removed from the process (see also Section 2.2.2.5).

A potential problem when ClO_2 is used is the formation of chlorateAbout 10% of ClO_2 as active chlorine shows up a chlorate. This means that about 4-6 kg of chlorate is formed per t of pulp at ECF-bleaching at kappa 18. Chlorate is toxic to bacteria and plankton at levels of about 3-4 mg/l. In addition is inhibits growth of brown algae, e.g. bladder wrack, at concentrations from about 20 micrograms/l. The reason being that when N is the limiting factor for growth, algae take up chlorate, which is a known herbicide, instead of NO_3^-.

2.1.11.2 Ozone

Ozone is produced from dry air or oxygen by the application of high voltages (10 - 20 kV) across two electrodes separated by the reactant gas. Ozone is not very stable and the yield of ozone is fairly low with a high level of unreacted oxygen expected in the product gas. A modern ozone generator fed with oxygen uses about 10 - 15 kWh/kg O_3 generated.

2.1.11.3 Other bleaching chemicals

Other bleaching chemicals are bought in ready for use - Hydrogen Peroxide as 50% solution; Dithionite as a solid. Oxygen is mainly purchased but there are a few mills in Europe, which generate oxygen on site. In a few pulp mills in TCF-bleaching sequences peracetic acid is used as bleaching chemical. For the production of peracetic acid about 3 kWh electricity /kg of product is required.

2.2 Present Consumption/Emission Level for Integrated and Non-Integrated Mills

2.2.1 Overview of input/output

An overview of the raw material and energy input as well as the output of products, by-products and the major releases (emissions, waste etc.) of the production of kraft pulp is presented in Figure 2.4.

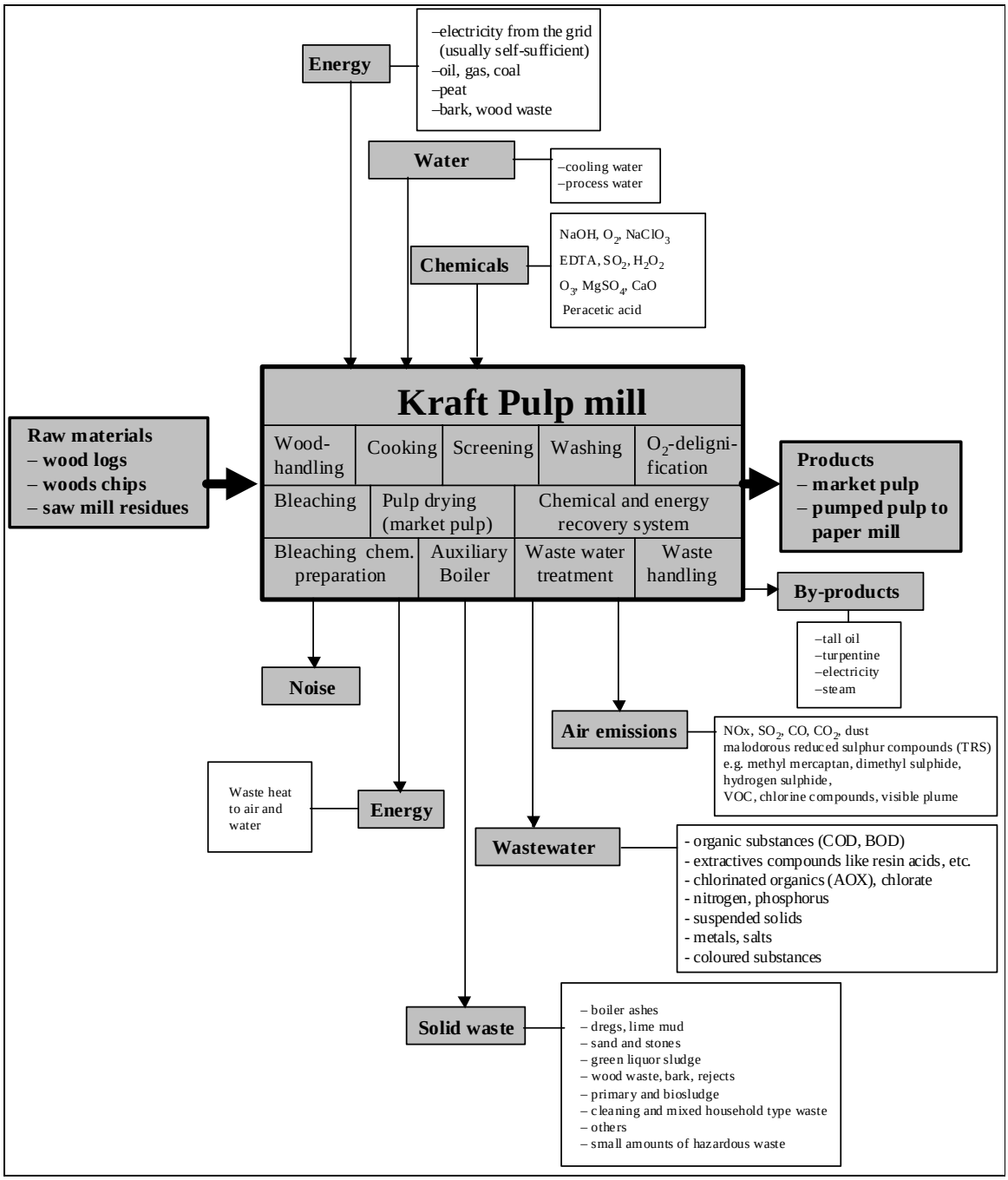


Figure 2.4: Mass stream overview of a kraft pulp mill.
The presence of some substances depend on the way of delignification and bleaching

The subsequent sections present specific consumption data, as well as specific emission data for individual operational steps associated with kraft pulp manufacturing.

2.2.2 Consumption and emission levels arising from process units

In kraft pulping the wastewater effluents and the emissions to air including malodorous gases are the centres of interest but in the next years it is also expected that waste will become an environmental issue of concern. The most relevant consumption of raw materials and emissions to water, air and soil (waste) as well as energy aspects are discussed below covering the following aspects:

- Wood consumption
- Water consumption and wastewater emissions from different process steps
  - Woodhandling
  - Condensates from evaporators
  - Spillages
  - Washing losses
  - Bleaching
  - Discharges of nutrients
  - Discharges of metals
- Emissions to the atmosphere
  - from the recovery boiler
  - from the lime kiln
  - from auxiliary boilers
  - Malodorous gases
  - Chlorine compounds from bleaching and bleaching chemical preparation
- Solid waste generation
- Consumption of chemicals
- Use of energy
- Noise

Where data are available emissions to water, air or soil (waste) are given before and after external treatment.

As for the reported emission and consumption figures, it should be borne in mind that, due to the use of some different measurement methods in the various Member States, data are not always strictly comparable from country to country. (See Annex III for more information on this issue but the different methods used do not alter the conclusions drawn in this document).

2.2.2.1 Wood consumption

All wood species can be used as raw material in the kraft pulp process. Logging and sawmill residues can also be pulped with the kraft pulp process. The use of wood and the yield for production of bleached pulp is dependent on the selectivity in delignification and bleaching. The wood required for manufacturing 1 tonne of chemical pulp is normally between 4 and 6.6 m^3. In forestry the volume is measured as wood under bark. The density of wood varies with species but is between about 0.4 and 0.6 g/cm^3. The amount of bark varies also, but is about 12 - 15% by weight.

2.2.2.2 Water consumption and waste from different proccess steps

As shown in Figure 2.5 emissions to water from a kraft pulp mill including a bleach plant originate from different process stages. They also include accidental spills.

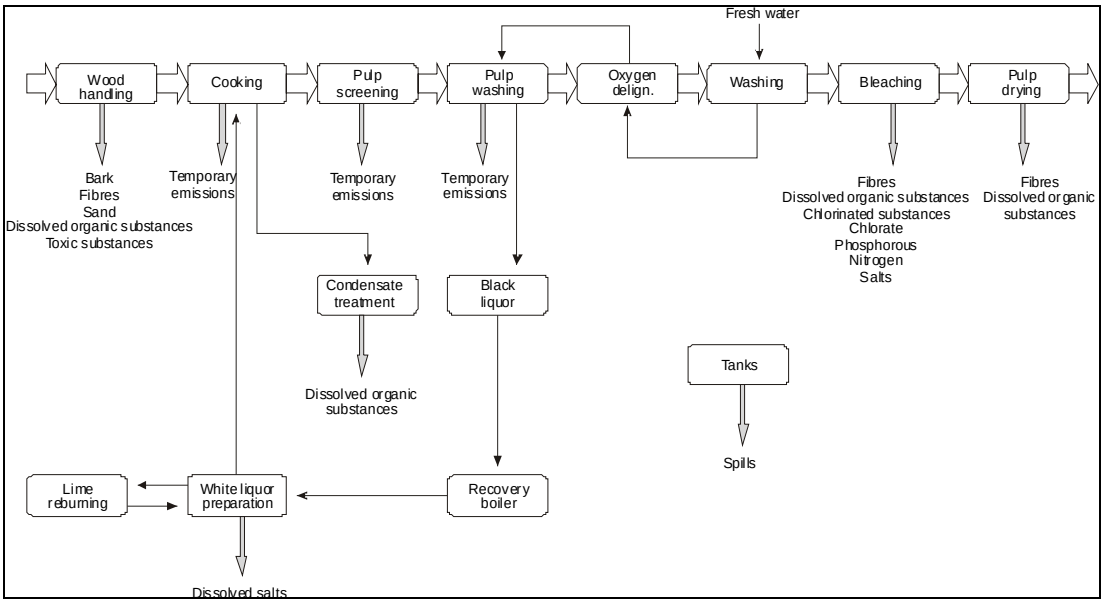


Figure 2.5: Emissions to water from a kraft pulp mill

Emissions to water are dominated by oxygen consuming organic substances, which are measured as COD and BOD. Effluent from bleach plant, where chlorine-containing bleaching chemicals are used, contains organically bound chlorine compounds, measured as AOX. Some compounds discharged from mills show toxic effects on aquatic organisms as some of the extractive components like resin acids that may be leached from bark in the wood handling. Emissions of coloured substances may affect the living species in the recipient negatively, since the water transparency is decreased. Emissions of nutrients (nitrogen and phosphorous) have a negative impact due to eutrophication. In lower concentration individual metals extracted from the wood can be determined in the effluents.

The water consumption varies considerably between different mills in EU or by more than a factor 10 or between 15 and 100 m^3/t. Figures higher than about 50m^3 are normally due to the fact that clean cooling water is included. Water consumption can be reduced in a pulp and paper mill by increasing internal water recirculation. In a kraft pulp mill, it can be realised e.g. by transferring wet debarking to dry debarking, by changing over to more efficient washing equipment, by recycling alkaline bleach filtrate, by using the condensates from evaporation and by closing the screen room with respect to water. There is a difference in water management between integrated and non-integrated pulp mills. In an integrated mill the pulp will come from the pulp process to the papermaking process at about 4% consistency and wastewater from pulping and from papermaking are usually treated in one single treatment plant. In non-integrated pulp mills the market pulp has to be de-watered and dried.

The volume of water used is closely linked to the wastewater load discharged from the mill. The pollution depends mainly on the design and operation of the processes that cause the major part of discharges and on the degree of closure of the mill. The main sources of wastewater and the corresponding load of pollutants are discussed in the following.

Wastewater from woodhandling

Stormwater run-off from the wood-yard might be polluted. The major source of pollution in woodhandling is however the debarking plant. It consumes water and creates an effluent containing nutrients, fibres and oxygen-consuming organic compounds like resin acids, fatty acids etc. that are toxic to aquatic life before treatment. Biological treatment has proven to be very efficient in eliminating toxicity. In a transfer from wet to dry debarking, water consumption and discharges are reduced. The dryness of the removed bark is however only marginally influenced. This is due to the fact that dry debarking means that water is recycled not that water is not used. In wet debarking 0.6 to 2 m^3 of water is used per solid m^3 of wood. Dry debarking still uses 0.1 to 0.5 m^3 water per m^3 of wood to wash the logs and some organics are dissolved but to a lesser extent compared to wet debarking.

Dryness of the bark can be increased by pressing or drying the bark. An increase in dryness will improve heat generation but result in an increased pollution load. Spans in pollution load in debarking effluents are given in Table 2.3 below.

Debarking technique	**Effluent Volume m^3/ m^3 wood**	**BOD_5 kg/ m^3 wood**	**COD kg/ m^3 wood**	**Tot-P g/ m^3 wood**
Wet debarking and press	0.6 - 2	0.9 - 2.6	4 - 6	5 - 7
Dry debarking and press	0.1 - 0.5	0.1 - 0.4	0.2 - 2	2 - 4

Table 2.3: Pollution load of debarking effluent before biological treatment [Finnish BAT Report, 1997]; BOD_7 has been converted into BOD_5 by use of the formula BOD_7 /1.16 = BOD_5 proposed within the same report

Bark is normally 35 - 45 % solid contents (dryness) on the tree. After normal wet or “dry” debarking, the bark is about 30 - 35 % dryness. This can be increased to 40 - 45% in a press but then there is an additional press effluent to consider. Bark press effluent is toxic and high in COD (20 - 60 kg/m^3). It could be dealt with at a chemical pulp mill by feeding it to the digester with the chips for subsequent evaporation and burning of the concentrate in the recovery boiler.

During the wintertime in northern countries frozen logs and snow must be melted before debarking. This can be done in the debarking drum with hot water or steam or on special de-icing conveyors before the debarking drum. At any given installation the water consumption and discharges from dry debarking will increase and will then be in the middle to upper range given in the above table.

Condensates from cooking and evaporation

Condensates originate from the process vapours from digesters and the evaporation plant. About 8 - 10 m^3/ADt of total condensates are formed with a COD load of about 20 - 30 kg/t and 7-10 kg/ADt of BOD_5. The COD is mainly methanol (5-10 kg/Adt) with some ethanol and a number of organic sulphuric compounds (1-2 kg/Adt TRS), 1-2 kg turpentine and inorganic nitrous compounds. Foul condensate contains furthermore ketones, terpenes, phenolics, resin and fatty acids and various dissolved gases. A large proportion of nitrogen discharged from a Kraft pulp mill is contained in condensates.

About 1 m^3 of condensate per tonne of pulp has a COD concentration of 10 - 20 kg/m^3. The level is higher in condensates from hardwood pulp than from softwood. These strong condensates are normally treated in a stripper where the removal efficiency for most compounds is over 90% depending on the pH. Stripping systems usually remove malodorous gases (TRS) and COD contributing substances at the same time. Stripped condensates after treatment can be

1 - 1.5 kg COD/m^3 of condensate. Normally about 0.2 tonnes of steam/tonne of condensate is fed to the stripper column. Energy saving techniques enable lowering steam consumption from 0,2 t steam/t of condensate down to 0.02-0.04 t steam/t of condensate.The stripped gases are either incinerated in a dedicated burner with subsequent SO_2 scrubbing or burnt in the lime kiln.

About 7 - 9 m^3 of weaker condensates are formed with COD ranging from 0.5 to 2 kg/m^3 containing a total of about 8 - 12 kg of COD/t of pulp. These condensates are free of metals and therefore particularly useful for washing in the bleach plant when aiming at closing up this part of the process. They can also be reused as scrubbing liquor for lime kilns or as white liquor make-up water. This means that some condensates will be used in closed parts of the process and not discharged to waste. Other condensates will be used in open parts, e.g. the bleach plant, and end up in the effluent together with those condensates, which are not reused but discharged directly to waste. Measured as COD, the total discharges of condensates to effluent are normally about 4 - 8 kg COD/t of pulp but this is mostly readily biodegradable.

Alternatively, moderately contaminated condensates can be stripped in a system linked to the evaporation plant thereby effecting treatment without any substantial additional use of energy. In this way the total COD load before any reuse is reduced to about 5 kg/t, a reduction of about 50% compared to only treating the most contaminated condensates.

Spills from different process departments

Spillage of fibres and black liquor occurs in the digestion plant, screening plant, and during washing. There are also spillage from the evaporation plant and from tanks. Spillage of white liquor, weak liquor, lime etc. occurs during causticizing. Most spills can be collected and recycled if adequate buffer volumes are used and appropriate procedures employed. Leakage from mechanical components such as pumps can be limited e.g. by choosing the right seals.

The conductivity or the fibre content of individual outflows of wastewater is normally checked in order to decide which liquids spilled are recycled in the process and which are directed to waste. Improved collection of spillage can be achieved if clean water, such as cooling and sealing water, is piped off separately. The remaining spillage water can then be more easily recycled in the appropriate part of the process.

Measured as COD, discharge of organic matters in spills is normally between 2 and 10 kg/t pulp. The lower figure is achieved using sufficiently large buffer volumes and proper supervision procedures. It should in principle be possible to reduce discharges of spills to zero if clean cooling and sealing waters are piped off separately, sufficient buffer volumes are in place and good house-keeping practised.
Improved collection of spillage not only reduces discharges to water but is also a reuse of valuable resources like chemicals, fibres and energy.

Black liquor residues (washing losses) from the handling of unbleached pulp

Pulp washing efficiency in chemical pulping relates initially to recovering as much as possible of the cooking chemicals and of dissolved organic substances. Press washing at the ultimate stage can reduce the amount of water from 6 - 10 m^3/t of pulp to 2 - 3 m^3/t thereby increasing the amount of chemicals and contaminants eventually burnt in the recovery boiler. The reduction of contaminants in the pulp is however less than the reduction of flow indicates. Washing is not 100% efficient so a certain amount of chemicals and pollutants is transported with the pulp to the bleaching stage where it consumes bleaching chemicals and enters the effluent.
Standardised methods exist for measuring this carry over which is often denoted "washing loss" and was originally measured as kg sodium sulphate per tonne of pulp. As this loss of make-up chemical has become less important for the process and environmental protection more, the washing loss is now normally measured as COD. Washing losses are currently typically 5 - 10 kg of COD/t for softwood and 7 - 12 kg of COD/t for hardwood.

Discharges from the bleach plant

The bleach plant is the most important point of discharge of pollutants to water in a pulp mill. If the bleachery can be wholly or partly closed, this would result in substantial further reductions in discharges to water of organic substances, nutrients and metals. Typical figures for wastewater quantities from a bleachery are 20 - 40 m^3 water per tonne of pulp. Many mills have tried to increase the degree of closure of the bleach plant by reducing the water volume. Partial closure of the bleach plant is currently achieved at both ECF and TCF-plants. Compared to open bleacheries the reduction in COD-load has been 25-50 % and the reduction in flow even higher or down to 5-10 m^3/t pulp compared to the more normal 25 m^3/t pulp.

The emissions from the bleach plant depend on a number of factors: the degree of delignification achieved before the pulp enters the bleachery, the washing loss, the bleaching sequences chosen and bleaching chemicals used, the type of wood, the final brightness of the bleached pulp to be attained and the degree of closure of the bleach plant.

In Table 2.4 examples for the interrelation between wood-type, techniques and degree of delignification before the bleach plant, and COD generated during bleaching are compiled. The kappa numbers are based on values currently attained on a commercial scale using various delignification techniques. The calculation for the discharge of residual lignin in kg COD/t pulp assumes a discharge of approximately 2 kg COD per kappa unit and a pulp to be bleached to full brightness. However, where the kappa number is less than 10 the discharge of COD is closer to 1.5 kg per kappa unit [OSPAR, 1994].

Cooking Method	Oxygen Delignif./ Ozone Bleaching	Hardwood pulp		Softwood pulp	
		kappa	COD [kg/ADT]	kappa	COD [kg/ADT]
Conventional Cook.	---	18	38	30	63
Conventional Cook.	Oxyg. Delign.	13	27	15	32
Modified Cooking	---	16	34	20	42
Modified Cooking	Oxyg. Delign.	10	15	12	25
Further Modified C.	---	13	26	15	30
Further Modified C.	Oxyg. Delign.	10	15	10	15
Conventional Cook.	Ox. Delig.+Ozone	N.I.	3	N.I	6
Explanatory note: N.I. = No information available					

Table 2.4: Expected discharge of residual lignin measured as COD from bleach plants for different delignification techniques
[OSPAR, 1994]

Chlorinated organic substances (AOX)

Since many years the public debate on the pulp and paper industry has focussed on discharges of chlorinated organic substances. A different perception of the impact of chlorinated compounds in the public enhanced the environmental pressure on pulp mills in Western Europe and thus, a change in the marketing concepts of the mills virtually stopped the use of molecular chlorine for bleaching of pulp. This means that the formation of chlorinated dioxins and dibenzofurans has virtually ceased and the degree of chlorination of the remaining chlorinated substances has declined. At the same time, the composition of AOX formed has undergone a change parallel with the reduction of AOX discharges from pulp mills. For example, phenolic compounds with 3-5 chlorine atoms in the atomic ring, i.e. the phenolic compounds that degrade most slowly and are most toxic, have decreased significantly below 1 g/t ADP. In recent years, following market demands, some mills have completely eliminated the use of bleaching chemicals containing chlorine by combining oxygen delignification with an ozone stage and/or a peroxide stages.

For both, softwood and hardwood pulp, the following tables give examples for different bleaching sequences used in European pulp mills and the corresponding discharge of chlorinated organic substances, measured as AOX. The tables include delignification techniques, bleaching sequences, kappa numbers, use of chlorinated bleaching chemicals and discharges of chlorinated organic substances before treatment.

Cooking techniques	Bleaching sequences	kappa	ClO_2 [kg/t]	AOX [kg/t]
Conventional Cooking	D(EOP)DED	30	95	2
Conv. Cooking + Oxy. Delign.	D(EOP)DED	16	60	0.8
Modified Cook. +Oxy. Delign.	D(EOP)D(EP)D	10	30	0.3
Conv. Cooking + Oxy. Delign.	ZD	No inf.	10	0.1
Modified Cook. +Oxy. Delign.	ZP	No inf.	0	0
Notes: "D" means Chlorine Dioxide; "E" means Extraction; "O" means Oxygen; "P" means Peroxide; "Z" means Ozone				

Table 2.5: Examples for different sequences for bleaching of softwood pulp used in European pulp mills and the corresponding discharge of chlorinated organic substances measured as AOX [OSPAR, 1994]

Cooking techniques	Bleaching sequences	kappa	ClO_2 [kg/t]	AOX [kg/t]
Conv. Cooking + Oxy. Delign.	D(EO)DED	13	40	0.5
Modified Cook. +Oxy. Delign.	D(EOP)DED	10	30	0.3
Conv. Cooking + Oxy. Delign.	ZD	No inf.	5	0.1
Modified Cook. +Oxy. Delign.	ZP	No inf.	0	0
Notes: "D" means Chlorine Dioxide; "E" means Extraction; "O" means Oxygen; "P" means Peroxide; "Z" means Ozone				

Table 2.6: Examples for different sequences for bleaching of hardwood pulp used in European pulp mills and the corresponding discharge of chlorinated organic substances measured as AOX [OSPAR, 1994]

Pulps entering the bleach plant with low kappa numbers require less bleaching chemicals. For example, if the kappa number is below 10, the need of chlorine dioxide as active chlorine can be limited to about 30 kg/t for softwood pulp, equivalent to about 6 kg chlorides. Another 1 kg chlorides/t comes with the wood. The amount of chloride resulting from bleaching stages with chlorine containing chemicals is of concern because one reason why it is not been possible to recycle bleachery wastewater to the closed system is its content of chlorides. These chlorides cause corrosion in the process equipment if they cannot be expelled in the effluent.

Summary of discharge before treatment

Discharges of organic substances

The volume and total load of organic substances of effluents discharged from different process steps after primary treatment are summarised in Table 2.7.

Process stage	COD kg/ADt
Wood handling	1 - 10
Condensates	2 - 8
Spillage	2 - 10
Washing loss	6 - 12
Bleaching	15 - 65
Total from mills	**31 - 105**

Table 2.7: Discharges of organic substances before external treatment from kraft pulp mills
The differences between softwood and hardwood are quite small and the following figures for subprocesses are not monitored on a continuous basis while the total figure is based on available data on annual averages and on continuous and flow-proportional sampling [OSPAR, 1994], [Finnish BAT report 1996], [CEPI 97]

At present the lowest total discharges after primary treatment in bleached kraft pulp mills are 25-30 kg COD/t of pulp for softwood. One Portuguese eucalyptus pulp mill (hardwood) reported 17.3 COD/t pulp as a yearly average in 1997 and 21.7 COD/t pulp in 1998 after primary treatment only.

Discharges of nutrients
Nutrients originate mainly from the wood itself although biological effluent treatment may require the addition of nutrients if deficient. Studies at kraft pulp mills have shown that nitrogen discharges principally derive from the unbleached part of the process, whereas phosphorus discharges come from the bleachery.

The prospects of reducing nutrient discharges from the process are mainly dependent on the possibilities of further processing of the condensate and further delignifying the pulp in the closed part of the process. Data below gives an indication of specific figures for phosphorus and nitrogen discharges in kg/t of kraft pulp **before** treatment.

Process	Phosphorous kg/ADt	Nitrogen kg/ADt
Unbleached	0.01-0.04	0.2-0.4
Bleachery	0.04 -0.06	<0.1*
Total from mill	**0.05 -0.10**	**0.2-0.4***

Note:
* Use of chelating agents can increase this figure of nitrogen by about 0.1 - 0.2 kg/t. Chelating agents will normally end up in the white water. Some mills add the chelating agents (also) in the closed part of the process. In this case the complexing agents end up in the recovery boiler i.e. are incinerated.

Table 2.8: Discharges before treatment of phosphorus and nitrogen in kg/t of kraft pulp [OSPAR, 1994]

Discharges of metals
The wood used contains metals, which are discharged with the wastewater. As is the case for phosphorus a reduction in discharges of metals is probably possible by increasing the degree of process closure but options for external treatment to reduce metals are very limited.

	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Unbleached pulp	0.03	0.3	0.5	0.2	0.4	5
Bleached pulp	0.1	0.4	1	0.7	0.9	15

Table 2.9: Discharges of metals from Kraft pulp mills in g/Adt [OSPAR, 1994]

Summary of discharge after external treatment

Minimum current external treatment is sedimentation and for pulp mill effluents secondary biological treatment is commonly also applied. Data below show variations in total treatment effects of sedimentation and biological treatment of kraft pulp mill effluents as % reductions. The more recent plants have reduction figures in the upper part of the ranges given. Aerated lagoon can be modified to incorporate sludge recycling. In that case, the treatment efficiency approaches that of an activated sludge plant.

Reduction rate of	BOD_5 [%]	COD [%]	AOX [%]	P [%]	N [%]
Aerated lagoon	40 - 85	30 - 60	20 - 45	0 - 15	0
Activated sludge	85 - 98	40 - 70	40 - 65	40 - 85	20 - 50

Table 2.10: Percentage reduction at wastewater treatment plants at chemical pulp mill [OSPAR, 1994], [Finnish BAT report, 1996]

Alternatives to activated sludge exist which are more compact and less expensive. The experience from such installations is more limited but they are claimed to have equivalent reduction levels to activated sludge.

Data on current discharges to water expressed as loads based on available data from kraft pulp mills within EU are given in Table 2.11.

	Flow [m^3/t]	BOD_5 [kg/t]	COD [kg/t]	AOX [kg/t]	TSS [kg/t]	Tot-N [kg/t]	Tot-P [g/t]
Unbleached pulp	20 -80	1- 20	7 - 50	---	0.2 - 15	0.1 – 1	3 - 40
Bleached pulp	30 – 110[1)]	0.2 - 40	4 - 90[2)]	0 - 2	0.2 - 10	0.1 - 0.8	5 - 90
Explanatory notes: 1) Figures above 50 m^3/t is normally due to that cooling water is included 2) A green-field mill starting to operate in 1996 reports 4 kg COD/t as annual average for 1998.							

Table 2.11: Reported annual average discharges from kraft pulp mills within EU [Finnish BAT report, 1996], [SEPA Report 4869], [Finnish Forestry Industries Federation, 98], [CEPI 97]. The figures have been derived from the different analytical methods that are described in 0. All of these methods are considered to yield equivalent results. Water samples analysed have been homogenised and are unfiltered and undecanted. Figures given are long time averages, normally annual values.

2.2.2.3 Emissions to the atmosphere

An overview of the emissions to the atmosphere from a kraft pulp mill is shown in Figure 2.6.

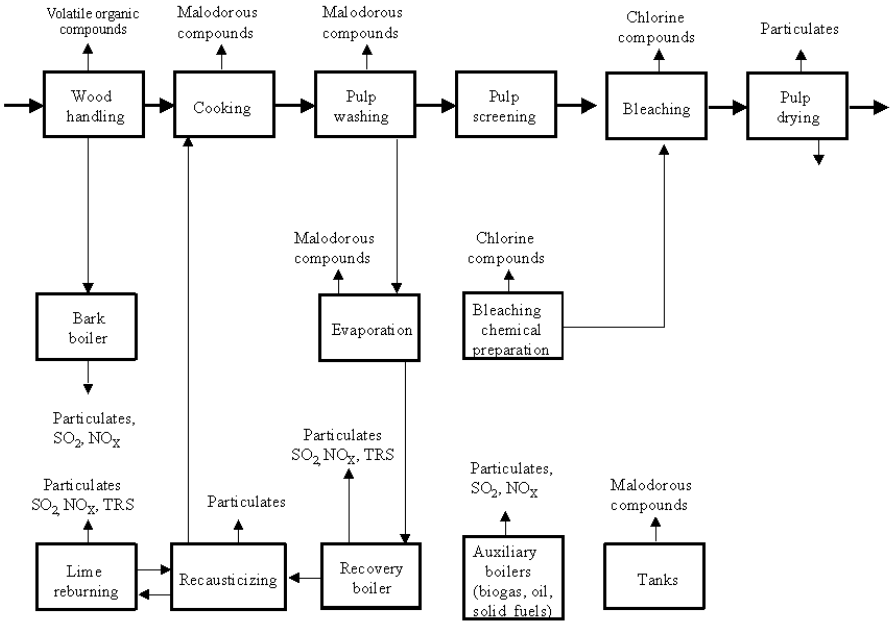


Figure 2.6: Emissions to the atmosphere from kraft pulp mills

Emissions to the atmosphere from a kraft pulp mill originate from chip storage, cooking digester, pulp washing, bleaching plant, bleaching chemical preparation, chemicals recovery, evaporation, bark furnace, recovery boiler, white liquor preparation, lime kiln, tanks and pulp drying (only for market pulp). They consist mainly of sulphur-containing compounds such as sulphur dioxide and malodorous reduced sulphur compounds like methyl mercaptan, dimethyl sulphide, and hydrogen sulphide. The latter compounds are commonly referred to as total reduced sulphur (TRS). From furnaces nitrogen oxides are also emitted and furthermore small amounts of dust (solid particulates) as fly ash. From bleach plants and from bleaching chemical preparation chlorine compounds may leak to the atmosphere. Volatile Organic Compounds (VOCs) mainly turpenes, are emitted to the atmosphere from wood chips stored in heaps outdoors the process. The VOC emission from chip piles vary among other things with the time chips are stored, temperature and the wood species. In the following the major sources of air emissions are discussed in more detail.

2.2.2.3.1 Air emissions from the recovery boiler

The recovery boiler is a major source of atmospheric emissions in a kraft pulp mill. Emissions are mainly represented by sulphur dioxide. In addition there are emissions of particulates (primarily sodium sulphate and sodium carbonate), nitrogen oxides and malodorous compounds (hydrogen sulphide).

The recovery boiler is fed with the evaporated black liquor. Approximately one third of the dry substance in the evaporated liquor consists of inorganic chemicals and two thirds are dissolved organic substance. After a conventional evaporation the black liquor (strong liquor) has a dry solids content of about 65%. The aim of evaporation is to achieve a high dry solids (DS) content in the thick black liquor fed to the recovery boiler in order to generate more steam. By installing

further equipment a dry solids content of 75 - 80+ % can be achieved. The sulphur emissions from the boiler will typically be reduced by about 80% when the DS content is increased from 65 - 67 to 74 - 76 % due to higher temperature in the recovery boiler and the more favourable incineration conditions. Some examples exist however where emissions of S have not reduced beyond DS of 72 - 73%. A drawback to the higher temperature is that emission of NO_x can increase. The recovery boiler is equipped with an electrostatic precipitator in order to remove the large amount of particulates (mainly Na_2SO_4) from the flue gases. The dust is fed back into the furnace by mixing into the strong black liquor. Additionally, recovery boilers are often equipped with a scrubber in order to decrease the emission of SO_2.

Typical emissions to air from recovery boilers are given in Table 2.12. The gas flow is normally about 6000 - 9000 m^3 ndg/t of pulp while process steam production is between about 13 and 18 GJ/t of pulp. Due to the lower yield for softwood pulping this figure is higher for softwood than for hardwood. An increased closure of the process also has a higher energy production as a consequence.

Sulphur dioxide		
- without scrubber and 63-65 % DS of black liquor	100-800 60-250 1-4	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
- with scrubber and 63-65% DS of black liquor	20-80 10-25 0.1-0.4	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
- without scrubber and 72-80 % DS of black liquor	10-100 12-30 0.2-0.5	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
Hydrogen sulphide [1)]		
- over 90% of the time (90 percentile)	< 10	mg/m^3n
- temporarily	< 0.05 higher	kg/ADt
Nitrogen oxides (as NO_2)	100-260 50-80 0.6-1.8	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
Particulates		
- after electrostatic precipitator	10-200 0.1-1.8	mg/m^3n kg/ADt
Notes: 1) Level corresponding to Swedish emission limitation		

Table 2.12: Emissions from Kraft pulp recovery boilers in kg/ADt at a gas flow of about 6000 - 9000 m^3/t
[Mainly from SEPA report 4008, 1992]

In the following the main principles and operating variables that influence the emissions from the recovery boiler are discussed to explain the complexity of pollution prevention at this installation.

Figure 2.7 below shows some principal inorganic reactions in a recovery boiler and also where in the furnace the reactions take place. In a conventional recovery boiler there is an oxidising zone in the upper part and a reducing zone in the lower part. The strong liquor is introduced through one or several nozzles into the reducing zone. Combustion air is mostly supplied at three different levels as primary, secondary and tertiary air (from the bottom up).

A smelt consisting mainly of sodium sulphide (Na_2S) and sodium carbonate (Na_2CO_3) is formed at the bottom of the furnace. When the sulphur is reduced to sulphide in the smelt also some hydrogen sulphide is formed. Small amounts of hydrogen sulphide may leave with the flue gases if the air supply is not sufficient or if the mixing of air into the furnace is incomplete. Temporary high emissions of hydrogen sulphide from the smelt may occur as a consequence of disturbances caused by deposits of dry substances on the furnace walls falling into the smelt. In the oxidising part of the furnace, the sulphur is oxidised to sulphur dioxide and sodium in the gas phase reacts with the sulphur dioxide to form sodium sulphate. A higher dry solids content leads to a high temperature in the furnace and thus a lower emission of hydrogen sulphide and a higher emission of sodium. The higher sodium emission means that more sulphur is bound as sodium sulphate and thus the emission of sulphur dioxide is decreased.

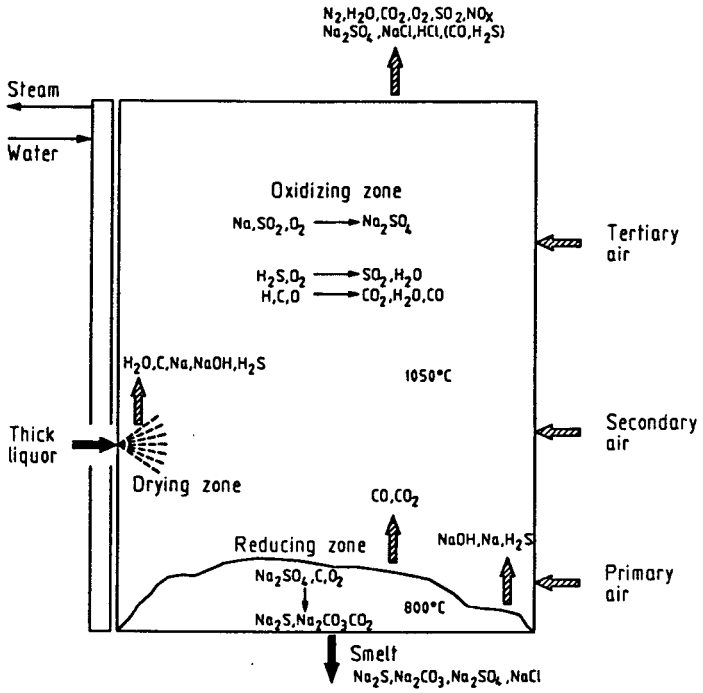


Figure 2.7: Some conceptual chemical reactions in a recovery boiler [SEPA report 4008, 1992]

In general, the emission of sulphur from the recovery boiler is influenced by the following operating variables:

- temperature in the different zones which on the other hand is influenced by the heating value and dry solids content of the strong black liquor and the amount of combustion air
- the sulphur-to-sodium ratio (S/Na_2)in the liquor (sulphidity). A high S/Na_2-ratio means that the release of sodium in the furnace in relation to the sulphur amount is not sufficient to bind the sulphur and thus a larger share of the sulphur leaves the furnace as sulphur dioxide instead of sodium sulphate. High dry solid contents of the black liquor may compensate this effect.
- supply (amount of air excess and primary air temperature) and distribution of combustion air
- distribution of the black liquor across the boiler area
- the load on the furnace. Operating a recovery boiler in an overloaded mode has an adverse effect on the emissions characteristics, especially on the quantity of hydrogen sulphide produced.

A general observation is that even if general indications of emission levels can be given, each recovery boiler is an individual and optimum conditions have to be carefully sought.

In order to decrease the SO_2 emissions from the recovery boiler it is often equipped with a flue gas scrubber operating at pH 6-7. pH is controlled by adding sodium hydroxide (NaOH), weak liquor or oxidised white liquor. A higher pH would remove hydrogen sulphide but carbon dioxide would be absorbed which would quickly neutralise the alkali. Surplus liquor from a scrubber is recycled to the process, normally to the white liquor preparation.

The formation of NO_x in a recovery boiler is mainly influenced by the nitrogen content in the black liquor and excess O_2 during combustion. The NO_x formation per MJ input is generally low due to the relatively low oxygen concentration needed for an efficient recovery of chemicals and the emission of NO_x normally varies between 1 and 2 kg/t of pulp.

An increase in excess O_2 from 1.5 to 2.5% may increase NO_x by about 20% and increased DS content from 65 to 75% may increase NO_x by up to 20%. The nitrogen content is higher in hardwood liquors than in softwood which can also result in about 10% higher NO_x.

Reduced NO_x can normally be achieved by modifications to the air feed system and optimising combustion conditions. Emissions are normally between 50 and 80 mg/MJ but new recovery boilers can achieve levels down to about 40 mg/MJ or well under 1 kg NO_x/t (e.g. Moensteras mill, Sweden).

2.2.2.3.2 Air emissions from the lime kiln

In the lime reburning process the calcium carbonate formed during the recausticising process (see Figure 2.3) is thermally converted back to calcium oxide according the reaction equation $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$. The reaction takes place in a rotary kiln where wet lime mud is dried, heated up to the reaction temperature, calcinated and cooled again. The calcination reaction starts at 800°C and to complete the reaction temperatures up to 1000-1100°C are required in the hot end of the kiln. The cooling is done by air in heat exchangers. The gas flow in a lime kiln is about 1000 Nm^3 /t (dry gas) of pulp and the energy used is about 1.5 - 1.8 GJ/t of pulp.

The major air emissions from the lime kiln are sulphur dioxide, nitrogen oxides, reduced sulphur compounds (TRS) and particulate matter. Typical emissions to air from a lime kiln are shown in Table 2.13.

Sulphur dioxide		
- oil firing without non-condensable gases	5-30 2.5-16 0.003-0.002	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
- oil firing with non-condensable gases	150-900 80-740 0.1-0.6	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
Hydrogen sulphide		
- normally	< 50 < 0.03	mg/m^3n kg/ADt
- temporarily	higher	
Nitrogen oxides (as NO_2)		
- oil firing	240-380 130-200 0.2-0.3	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
- gas firing	380-600 200-320 0.3-0.4	mg/m^3n mg/MJ kg/ADt
Particulates		
- after electrostatic precipitator	20-150 0.01-0.1	mg/m^3n kg/Adt
- after wet scrubber only	200-600 0.1-0.4	mg/m^3n kg/Adt

Table 2.13: Typical emissions to air from a lime kiln
[SEPA report 4008, 1992]; The higher SO_2 values when firing with non-condensable gases are caused by the fact that the capacity of the lime kiln to trap sulphur is often not sufficient if all TRS containing air is treated in the lime kiln.

The emissions from the lime kiln in a kraft mill are mainly affected by solids retention time, gas contact area, type of fuel and temperature.

SO_2 emissions
Sulphur emissions from the lime kiln are due to sulphur in the fuel and malodorous gases if such are burnt. The role of sulphur entering the sulphur with lime mud is in this respect marginal.
A limited amount of sulphur can be absorbed in the lime kiln by gaseous Na forming sodium sulphate according to the reaction equations

$$Na_2CO_3\,(l) + \rightarrow 2\ Na\ (g) + CO_2 + 1/2\ O_2$$
$$SO_2\ (g) + 2\ Na\ (g)\ O_2 \rightarrow Na_2SO_4\ (l) \rightarrow Na_2SO_4\ (s)$$

The main sulphur absorbing compound is thus the sodium carbonate (Na_2CO_3) in the lime mud. When this capacity is exhausted, SO_2 is released. This effect is enhanced when malodorous non-condensable gases are incinerated in a kiln. Therefore, SO_2 emissions are usually a clear function of the amount of malodorous gas flow.

To minimise the formation of SO_2 either the sulphur content in the fuel can be reduced or if malodorous non-condensable gases (NCGs) are to be burnt in the lime kiln, sulphur compounds can be scrubbed out of these gases prior to burning in the lime kiln. A small internal NaOH scrubber for the malodorous gas flow (i.e. not for the total flue gas flow) will reduce H_2S almost completely while the methylsulphides are reduced by about 50 - 70 % and methylmercaptane by

less than 20%. Typical total S emissions from lime kilns are ten up to several hundred mg/m^3 if NCGs are burnt and 10 - 30 if they are not.

Total Reduced Sulphur emissions (TRS)
The TRS emissions from a lime kiln consist mainly of hydrogen sulphide. Observed H_2S concentrations are normally less than 50 mg/m^3 (90 percentile) resulting in a total emission of <0.03 kg/t.

H_2S formation in the lime kiln depends on oxygen levels and the amount of sodium sulphide in the mud burnt in the kiln. The presence of sufficient excess air can be ensured by a residual oxygen control system. The sodium sulphide content can be controlled by properly operated lime mud washing and filtering so that sodium sulphide (Na_2S) is prevented from entering the lime kiln. If Na_2S enters the cold drying and heating section of the lime kiln in the presence of CO_2 and water H_2S is formed according the reaction equation

$$Na_2S + CO_2 + H_2O \rightarrow H_2S + Na_2CO_3.$$

With a proper capacity of the lime mud filter a small amount of air is sucked through the lime mud cake and the residual Na_2S left on the surface of lime mud particles is then oxidised to sodium thiosulphate that does not cause any H_2S formation in the kiln. If H_2S problems arise, the reason is in many cases poor lime mud quality in terms of lime mud dry solids content (normally over 80%) and purity (low free alkali concentration is required). Technical options are improvement of green liquor clarification and the lime mud washing or replacing a part of the lime with make-up lime.

Particulate matter
Particulate matter is made up of lime dust and sodium condensed out of the vapour phase. The emissions can be controlled internally by design and proper running of the kiln and externally by adding an electrostatic precipitator or a scrubber. An electrostatic precipitator is capable of reducing the concentration of particulates down to about 20 - 100 mg/m^3 and a water scrubber to about 200 - 600 mg/m^3.

Nitrogen oxides (NO_x)
NO_x emissions are mainly correlated to burner design and for a particular burner, to nitrogen content of the fuel and combustion temperature. An increase in emissions would result from the use of fuel with a higher content of nitrogen. Both incineration of NCGs and use of biogas and methanol as fuel, increase NO_x formation.

NO_x concentrations are from about 100 mg/m^3 when only tall oil is used, up to about 900 mg/m^3 with NCGs and methanol together with bark powder, pyrolysis gases or fossil oil.

2.2.2.3.3 Air emissions from auxiliary boilers

Bark boilers
Bark will burn autothermically at about 20% dryness. Before incineration the loose bark and wood sticks removed from the logs in the debarking drum is fed into a bark shredder and is finally pressed to a dryness of 38-45%. The consumption of energy in a press is about 5 kWh/t of bark having an initial dryness of about 35% and the increase in heat generation is about 2 GJ/$t_{45\%}$ if the dryness increases from about 35 to 45%. At 45% dryness, bark represents a heat value of about 7 - 8 GJ/t and it can be used as a source of energy within the plant or sold as a by-product, e.g. as pellets. At the plant it is normally used in an auxiliary boiler. If it is to be used as fuel within the process or sold as pellets it must first be dried to up to about 90% dryness. It can then, after either been gasified or pulverised, be used e.g. in the lime kiln.

Bark is used as power plant fuel in pulp mills to a large extent. As bark contains only small amounts of sulphur, there will be only low sulphur dioxide emissions depending if other sulphur-containing fuels are added. When bark is being burnt together with fuels that contain sulphur (e.g. fossil fuels), the alkaline bark ash binds some of the sulphur and thus reduces the emissions.

In bark boilers the emission of nitrogen oxides will also be lower than in the burning of other kinds of fuel due to the low combustion temperature. Emissions are typically 70 - 100 mg/MJ when only bark is fired but at times when oil is used in the boiler an increase to about 100 - 150 mg/MJ will be the case. Excessive oxygen increases NO_x formation but lower excess oxygen levels increase CO and VOC. The total NOx-reduction achievable in a bark boiler is about 30-50% by making changes in combustion techniques and/or applying an SNCR-process (Selective Non-Catalytic Reduction). Examples for the application of the SNCR process on bark boilers can be found for instance in some Swedish mills (Nymölla, Husum).

Given a heat production from bark of about 7 GJ/t of bark the range of NO_x emissions is about 0.3 - 0.7 kg/t bark. The lower figure represents optimised combustion conditions and/or the use of SNCR where urea is used to reduce NO to nitrogen, carbon dioxide and water. The NO_x emissions would then be about 40 - 60 mg/MJ or 100 - 200 mg/m^3 (NTP, dry gas).

Dust emissions are normally reduced to about 20 - 40 mg/Nm^3 (dry gas) at 11% O_2 when electrostatic precipitators (ESPs) are used and about 200 mg/m^3 with cyclones. Emissions of gaseous sulphur are small at about 5 - 20 mg/MJ when burning bark. Some reported figures on sulphur emissions from bark boilers from Swedish mills are Stora Fors 7, Mörrum 19, Norrsundet 20, Ortviken 15, Skoghall 13, Dynäs 10 mg S/MJ fuel input to the boilers. Probably some of the S in the bark is removed with the ashes.

Unit	S	NO_x	Particulates
kg/t	0.04-0.1 kg/t	0.3 - 0.7 kg/t	0.1 - 1 kg/t
mg/MJ	5 - 15 mg/MJ	40 - 100 mg/MJ	20 - 200 mg/m^3

Table 2.14: Emissions to air from bark boilers
Data as kg/t bark and mg/MJ respectively. Normal figures of gas flow are about 1600 - 1700 m^3/t of pulp

Other steam boilers

In integrated pulp and paper mills the excess heat produced by the pulp mill is not quite enough to cover the energy consumption of the paper production. The additional demand for heat has to be produced in auxiliary steam boilers. Fossil fuel is used as support fuel in bark and sludge boilers and as the main fuel in auxiliary boilers as well. The fuels used in the boilers are coal, fuel oil, natural gas, peat, wood waste and fibrous sludge from effluent treatment. The emissions from power production are dependent on the fuel, the fuel mixture and the impurities content. For instance oil and coal contain sulphur but natural gas does not. Most of the boilers for solid fuels are circulating and fluidised boilers especially when difficult mixed fuels with varying properties are incinerated. These boilers offer the opportunity to use a wider range of fuels and generate lower emissions than grate boilers. The combustion efficiency is high due to the effective mixing of the materials and heat transfer between the solid material and the flue gas. NOx emissions are relatively low due to the low combustion temperature (800°C -950°C). If the fuel contains sulphur, sulphur emissions can be prevented by the addition of lime to the bed. At temperatures below 900°C sulphur reacts with lime or calcium in the bark and the sulphur dioxide emissions are reduced considerably.

Type of fuel	mg NOx/MJ	mg S/MJ	Particulates [mg/m^3]
oil	60 - 150	25 - 100 [1)]	20 - 200
No data for other fuels			
Notes: [1)] Sulphur content of the fuel oil: 0.1 - 0.4 %			

Table 2.15: Examples for currently observed emissions from different types of auxiliary boilers [SEPA Report 4008, 1992], [annual reports by Swedish mills to SEPA]

2.2.2.3.4 Malodorous gases

Malodorous gases in kraft pulping are normally H_2S, methyl mercaptane, dimethyl-sulphide and dimethyl-disulphide. Sometimes malodorous gases are referred to as Total Reduced Sulphur, TRS. The malodorous gas streams are generally divided into strong (concentrated) and weak (diluted) gases. The latter normally refers to a concentration of < 0.5 g of S/m^3, while the more concentrated or strong gases are normally above 5 g/m^3.

Concentrated gases come from digester, evaporation plant and condensate stripper. In total they add up to about 25 m^3/t of pulp. The non-condensable gases from the cooking plant and the stripper gases from the steam stripping of foul condensates from the evaporation plant usually contain 1-2.5 kg S/Adt. [Finnish BAT Report, 1997] and are normally higher at hardwood pulping than at softwood due to different lignin structure.

Concentrated gases are collected and burnt either in the lime kiln, the recovery boiler or in a separate burner. If a dedicated burner is used a scrubber is normally added to control emission of the SO_2 formed.
The heat energy can be used but NO_x formation is high, up to 1 g/MJ of fuel. This level can be reduced by about 70% by optimising combustion conditions.

The advantage of burning the malodorous gases in the lime kiln is that no extra furnace is needed. In addition, the sulphur in the gas can be absorbed which reduces the emission of sulphur dioxide. However, as said above, the S-content in malodorous gases can overload the absorption capacity in the lime kiln.

On average, 15 % of the fuel used in a lime kiln can be replaced by malodorous gas. However, the variation of the amount of energy of the gas may make it difficult to produce lime of good and uniform quality. Separating off methanol from the gases minimises the problem with varying gas quality. The separated methanol can then be fed in liquid phase to the lime kiln or to a dedicated burner for malodorous gases.

Diluted gases come from e.g. from chip-pre-steaming, screening, pulp washing, smelt dissolver and ventilation of various tanks that contain black liquor etc. They add up in total to about 2000 - 3000 m^3/t of pulp with 0.2 - 0.5 kg S/ADt [Finnish BAT Report, 1997].

Diluted gases at some mills are collected and burnt in the recovery boiler, in the lime kiln, or scrubbed. Scrubbing is mainly effective on H_2S. Burning the weak gases in the recovery boiler may influence the operation of the boiler and would require modification of the boiler. At some mills both weak and strong malodorous gases are burnt in the recovery boiler. Information from this practice is however limited.

In cooking and evaporation, a part of the malodorous compounds are transferred to the condensates. In addition to reduced sulphur compounds, the condensates contain methanol and some other oxygen consuming compounds (BOD load). The foul condensates are collected and treated separately as described above (see: wastewater discharges from different process steps).

2.2.2.3.5 Chlorine compounds from bleaching and bleaching chemical preparation

In bleached kraft pulp mills using chlorine dioxide as bleaching chemical chlorine compounds from the bleach plant and the ClO_2-production are released to the atmosphere. In Table 2.16 some examples of measured values are presented and compared with values set under normal conditions in permits in Sweden.

Name of the mill (reference year)	**Condition in the permit** [kg active chlorine/t of bleached pulp]	**Measured values** [kg active chlorine/t of bleached pulp]
Husum (1995,96)	0.2 annual	0.0-0.04 kg Cl_2 and ClO_2 as chlorine/ t of pulp; monthly grab (one 0.4)
Skärblacka (1996)	0.3 monthly	0.08 annual average
Mönsterås (1997)	0.05 annual	0 (TCF)
Gruvön (1997)	0.2 monthly	0.02 (one week average)
Skoghall (1997)	0.2 monthly	0.05 (one week average)
Skutskär (1997)		0.0004 bleachery 0.006 ClO_2-production

Table 2.16: Examples of measured values of chlorine emissions to air from the bleach plant and ClO_2-production from some Swedish pulp mills
Data from mills' obligatory annual reporting and from permits. The figures cover all emissions from the plant, normally measured in ventilations from the bleach plant and from chlorine dioxide production after scrubbers

Summary of emissions to the atmosphere after external treatment

Available data on annual average emissions in kg/t of kraft pulp are summarised in Table 2.17 below. To facilitate the comparison of all emissions of gaseous sulphuric compounds including SO_2 have been given as gaseous S. Emission data for the recovery boiler are normally based on continuous monitoring while the other sources are less frequently monitored. It should be pointed out, however, that not all mills report diffuse emissions and the methods for calculating and reporting the total emissions vary between mills and between the Member States.

Source of emission	**Total gaseous S [kg/t ADt]**	**NOx [kg/t ADt]**	**Particulates [kg/t ADt]**
Recovery boiler	0.01 - 2	0.8 - 1.8	0.2 - 1.8
Lime kiln	<0.01 - 0.7	0.02 - 0.6	0.02 0.9
Bark boiler	0.02 0.06 [1)]	0.03 - 0.2	0.03 - 0.3 [1)]
Malodorous gases	0.01 – 2 [2)]		---
Total emissions from mills	**0.04 - 4**	**0.85 – 2.6**	**0.25 - 3**

Explanatory notes:
1) For the bark boiler estimated figure. Any use of fossil fuel in the bark boiler is not included
2) Concentrated gases are assumed to be burnt in the lime kiln

Table 2.17: Long time (annual) average emissions to the atmosphere from kraft pulp mills within EU
The figures are based on the different analytical methods that are discussed in 0 or methods yielding equivalent results. NO_x is the sum of NO- and NO_2 emissions calculated as NO_2 [SEPA report 4869], [Finnish Forestry Industry Federation, 1998], [Finnish BAT Report, 1996], [data from personal communication with mills]

Emissions of Volatile Organic Compounds (VOC) from the process are reported to be about 0.4 kg/t of softwood kraft and less than 0.1 kg/t for hardwood kraft. As mentioned above there are also some emissions of VOCs from the chip-heaps. As an example VOC emissions from the chips are about 0.2 - 0.3 kg/m^3 of wood at kraft pulping.

2.2.2.4 Solid waste generation

The production of kraft pulp generates various fractions of solid waste: inorganic sludge (dregs and lime mud) from the chemical recovery; bark and wood residues from woodhandling; sludge from effluent treatment (inorganic material, fibres and biological sludge); dust from boilers and furnaces; rejects (mainly sand) from the wood handling; ashes and miscellaneous material (like building material). Many organic substances, which might be considered waste products, are burnt for energy recovery. This normally includes bark and wood residues and could include water treatment sludge.

Dregs and lime mud are separated from the chemical recovery cycle in order to keep the amount of inert material and non-process chemicals in the cycle at an acceptable level and thus secure high reaction rates in the chemical recovery system.

Bark and wood residues from woodhandling is normally burnt for energy recovery and should thus be considered as waste only if they can not be burnt and have to go to permanent landfilling. Wood ash from bark boilers contains nutrients taken from the forest with the wood raw material and this ash can be suitable as a fertiliser as long as it is not contaminated by e.g. metals like Hg, Cd and Pb although these come from the wood itself. A leaching of heavy metals from the recycled ashes spread to forest or agricultural land might be a drawback of these measures.

Sludge from wastewater treatment is one of the main groups of potential waste. A large amount of sludge is generated in primary treatment and in biological treatment with the activated sludge method. Aerated lagoons generate only small amounts of excess sludge and the generation of sludge in anaerobic treatment is also moderate. Chemical flocculation produces a considerable amount of sludge. Biological and chemical sludge has poor de-watering properties.

The sludge is usually thickened before being de-watered in a filter press, screw press or on a vacuum filter. Often excess sludge from biological wastewater treatment is mixed with primary sludge and bark sludge before de-watering. Inorganic and/or organic chemicals are used to improve the de-watering of sludge by forming larger flocs. Mixed sludge can be de-watered to 25-35% dryness with filter presses and to 40-50% with a screw press using steam in the pre-treatment stage.

In sludge burning the net energy production is about zero or negative if the dry-solids content in the sludge is below 40% and if the sludge contains a high amount of inorganic material. To maintain good burning conditions the use of auxiliary fuel is necessary unless the sludge is mixed with bark and other wood waste material. Burning reduces the volume of waste and the inorganic content remains as ash, which is normally transported to a landfill site.

Sludge from chemical precipitation cannot be burned alone without the use of auxiliary fuel because of the high content of inorganic matter and water. The sludge is therefore often transported to a landfill site. Sludge from flocculation with only synthetic organic polyelectrolytes is suitable for incineration.

Data on waste generation is limited. Therefore in Table 2.18 available data for various types of wastes generated in a kraft pulp mill from one Member State is given.

Type of waste	kg dry solids per tonne of pulp
Wastewater treatment sludge	10
Wood ash	9
Other ashes	14
Fibre and coating waste	5
Wood waste	6
Hazardous waste	0.2
Total	**43**

Explanatory notes:
"wood ash" is fly ash and dust from incineration of wood material (e.g. from the bark boiler)
"other ashes" are ashes from fuels used in energy production other than wood and black liquor
"wood waste" is bark, chips, sawdust, wooden packages etc. Wood waste is landfilled only if it can't be burned (containing sand or if it is in some other way too dirty)

Table 2.18: Average waste generation in kraft pulp mills in kg dry solids/t pulp [Finnish BAT Report, 1996]. The absolute figures has been transferred to specific data per tonne of pulp by dividing the given total values by the yearly production of bleached and unbleached kraft pulp in Finland (5.7 Mt/a). The figures include both integrated and non-integrated mills

Other reports [CEPI, 97] describe little higher amounts of solids wastes as typically for kraft mills. There, unbleached kraft pulping is held to produce 20 - 60 kg dry solids organic waste/ADt (kraft) and 30-60 kg dry solids inorganic waste/ADt. For bleached kraft pulping 30-60 kg organic wastes (dry basis) per tonne of pulp and 40-70 kg inorganic wastes (dry basis) per tonne of pulp are reported.

Data on solid waste in Swedish mills (expressed as dry solids, DS) are reported as the following[1]:

Green liquor sludge, dredges and lime mud
These wastes are often mixed and it is very difficult to give separate figures. In total the amount varies roughly between 10 and 60 kg/t of pulp with an average of about 30 (SEPA 4869). The composition in such a mixed waste varies as well. In Report 4 from the project "Miljö 95/96" data for a number of samples are given. The following averaged data is calculated for green liquor sludge with different amount of lime mud.

Lime mud [%]	Dry solids, [DS %]	Ash [%]	Organic content [%]	tot-Ng/kg DS	tot-P g/kg DS	tot S g/kg DS
<2	45	62	20	0.4	0.6	23
75	59	62	6.5	<0.4	2.8	6.3

Table 2.19: Average composition of green liquor sludge with different amounts of lime mud The figures are divided into two groups: one with almost no lime mud (< 2%) and the other with much lime mud (about 75% as an average)

Metal concentrations are also reported for the same samples. In Table 2.20 averaged values are shown.

[1] Data mainly taken from SEPA report 4869 "Skogsindustrins utsläpp till vatten och luft samt avfallsmängder och energiförbrukning 1996" (The Forest Industry´s emissions to the atmosphere and water, amounts of waste and consumption of energy 1996) and Report 4 ("Avfall från skogsindustrin- Mängder, sammansättningoch omhändertagande" = Waste from the Forest Industry- Amounts, Composition and Disposal) from the project "Miljö 95/96" (Environment 95/96) run by the The Swedish Forest Industries Water and Air Pollution Research Foundation (the SSVL).

Lime mud [%]	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
<2	430	16	9.2	75	90	0.07	60	18	330	2300
75	310	11	5.3	85	96	<0.10	29	11	290	1000
Notes: All values expressed as [mg/kg dry substances]										

Table 2.20: Average metal concentrations in green liquor sludge with different amounts of lime mud

Green liquor sludge is in Sweden normally dried on drum filters with a precoat layer of lime mud given a DS of 30-70%. If centrifuges are used the DS is about 8-20%. (Report 4 of Miljö 95/96). The sludge is normally landfilled.

Ashes, slags, particulate matter (e.g. from electro static precipitators)
According to SEPA 4869 the amounts are for kraft pulp mills between about 5 and 45 kg/t of pulp.

Wood yard waste to landfill
The amounts vary between 1 and 20 kg/t of pulp. This waste mainly consists of bark, sand and stones (SEPA 4869).

Rejects from screening/fibre rejects
Limited amount of data in SEPA 4869 shows figures between about 2 and 20 kg/t of pulp

Sludge from biological treatment
With aerated lagoons at kraft pulp mills the amount of sludge is very small usually < 1 kg of DS/t of pulp (from report 4). Biological treatment in activated sludge plant generates higher amounts of sludge.

2.2.2.5 Consumption of chemicals

The consumption of chemicals varies from mill to mill and is to a certain extent regarded as confidential. However, the consumption of main chemicals is reported as typically being as follows in kg/t of pulp.

Substance	Consumption for unbleached kraft pulp [kg/t]	Consumption for bleached kraft pulp [kg/t]
NaOH	10-20	25-50
O_2	-	5-25
$NaClO_3$	-	20-50
EDTA	-	0-4
S	-	
SO_2	-	2-10
H_2O_2	-	2-30
O_3	-	0-5
$MgSO_4$	-	0-3
CaO	5-10	5-10

Table 2.21: Consumption of main chemicals in kg/t ADP for kraft pulp production [CEPI 1997]; All chemical consumption are expressed as 100% effective chemicals and not as commercial solutions containing various amounts of water

The main purpose of the chemicals mentioned above is:

- Magnesium sulphate is added at the rate of 0 - 2 kg $MgSO_4$/ADt for hardwood or 2 - 3 kg $MgSO_4$/ADt for softwood in order to preserve the strength of the pulp in oxygen delignification.
- The consumption of oxygen for delignification is 12 - 15 kg/ADt for hardwood pulp and 20 - 25 kg O_2/ADt for softwood pulp.
- The alkali consumption is 12 - 15 kg NaOH/ADt for hardwood and 20 - 25 kg NaOH/ADt for softwood [Finnish BAT Report, 1997]
- Chelating agents like EDTA and DTPA are used to remove the metals in hydrogen peroxide bleaching sequences in order to prevent the decomposition of the hydrogen peroxide. Emissions of chelating agents might effect the distribution of the metals in the receiving water body and in the organisms living there. Moreover, the use of chelating agents cause emission of nitrogen the amount of which depends on the amount used.

At steady state running conditions, it is a fundamental that any substance entering a mill also must exit the mill. In kraft pulp mills using NaOH and Na_2S as main cooking chemicals the input and output of sodium and sulphur have to be controlled and balanced. The requirement for reduced emissions of sulphur dioxide from mills implies that preferably less sulphur should enter the mill or that sulphur has to be discharged as less harmful substances (as for example sulphate). The main sources of sulphur are listed in Table 2.22.

Source	Amount of sulphur [kg S/Adt]
Wood, water, chemicals	0.3 - 0.5
Fuel oil to lime kiln and recovery boiler	1.0 - 2.0
Tall oil production	2.0 - 3.0 [1)]
Chlorine dioxide generation	0 - 15 [2)]
Magnesium sulphate for oxygen stage	0 - 0.8
Total	3.5 - 25.5

[1)] Often spent acid from chlorine dioxide production can be used
[2)] Depending on type of process and valid for a mill using up to 40 kg/ADt of chlorine dioxide expressed as active chlorine

Table 2.22: Typical sulphur intakes to a bleached kraft pulp mill [SEPA report 4008, 1992]

At present, the emissions of sulphur dioxide from kraft mills vary down to levels as low as 0.3 kg S/ADt (see Table 2.17). Non-gaseous losses of sulphur in effluents can be estimated to correspond to 2 kg/ADt [SEPA report 4008, 1992]. Thus, the total losses of sulphur from a pulp mill would be as low as about 2.3 kg S/ADt in some cases. A comparison with the intake of sulphur when operating with a high proportion of chlorine dioxide in bleaching shows that a high amount of sulphur may have to be discharged or disposed as neutral salts (e.g. Na_2SO_4). However, this will simultaneously cause sodium losses that need to be compensated by more expensive sulphur-free sodium make-up chemicals. To determine correct numbers, the chemical balances have to be worked out on a case-by-case basis for each mill and each process.

2.2.2.6 Use of Energy

The major part of heat energy is consumed for heating different fluids and for evaporating water. Heat energy is also used to accelerate or control chemical reactions. Electrical energy is mostly consumed for the transportation of materials (pumping) and for the operation of the paper machine (only in integrated pulp- mills).

The manufacturing of bleached kraft pulp consumes about 10-14 GJ/ADt of heat energy (steam for the production of electrical power not included). The consumption of electrical energy is 600-800 kWh/ADt, including the drying of pulp. The energy consumption for pulp drying is about 25% of the heat energy and 15-20% of the electrical energy. Over 50% of the electrical energy consumption are used for pumping.

The energy consumption depends on the process configuration, process equipment and process control efficiency.

Table 2.23 below summarises reported average energy consumption as heat (excluding that for back-pressure power generation) and electric power for some non-integrated and integrated pulp mills.

Pulp and paper grade	Process heat [GJ/t]	Electric power [kWh/t]
Non-integrated production of bleached kraft pulp	14.4	760
- whereof external supply	1.2	0
Unbleached kraft pulp production with integrated production of paperboard	16.4	959
- whereof external supply	1.5	388
Bleached kraft pulp with integrated production of uncoated fine paper	17.5	1218
- whereof external supply	3.5	706

Table 2.23: Average energy consumption in Swedish pulp and paper mills in 1995 [SEPA report 4712]

From available data for Swedish mills in Table 2.23 to Table 2.29 [SEPA report 4712] energy consumption and energy balances for a number of different mills are summarised per sub-process. Thus, the main energy consuming process stages can be identified. The figures in Report 472 represent a modernised mill like a mill built in the 1970s and since then modernised. A newly built or recently modernised existing mill, would most probably have lower values.

Department	Process heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Wood handling	200	45
Cooking	1700	64
Washing and screening	0	45
Evaporation	4000	21
Recovery boiler	600	48
Auxiliary boiler	0	23
Causticizing	0	14
Lime kiln	1500	7
Miscellaneous, pulp mill	2600	133
Total pulp mill	**10600**	**400**
Stock preparation	0	200
Paper machine	5800	350
Total paper mill	**5800**	**550**
Effluent treatment	**0**	**9**
Total per tonne of paper	**16400**	**959**

Table 2.24: Average energy consumption for the production of 243000 ADt/a unbleached Kraft pulp, and integrated production of 250000 t/a paperboard

Department	Process heat [MJ/t]	Electricity [kWh/t]
Pulp mill		
Recovery boiler, process steam	+14500	
Auxiliary boiler, process steam (only own bark)	+2050	
Turbine generator	-2050	+571
External supply (heat for lime kiln)	+1500	0
Consumption (including lime kiln)	-10600	-400
Effluent treatment	0	-9
Excess energy from pulp mill	**+5400**	**+162**
Paper mill		
Consumption	-5400	-550
External supply	0	+388
Total external supply	**1500**	**388**

Table 2.25: Energy balance for the production of 243000 ADt/a unbleached Kraft pulp, and integrated production of 250000 t/a paperboard

Department	Process heat [MJ/ADt]	Electric power [kWh/ADt]
Wood handling	150	55
Cooking	2050	65
Washing and screening	0	55
Oxygen delignification	400	45
Bleaching	500	83
Bleach chemical preparation	70	6
Bleached stock screening	0	40
Pulp drying	2850	105
Evaporation	4100	30
Recovery boiler	610	60
Power boiler	0	30
Causticizing	0	20
Lime kiln (direct heat)	1500	10
Miscellaneous, pulp mill	2170	136
Total pulp mill	**14400**	**740**
Effluent treatment	**0**	**20**
Total per ADt of pulp	**14400**	**760**

Table 2.26: Energy consumption for non-integrated 250000 ADt/a bleached Kraft pulp

Department	Process heat [MJ/ADt]	Electric power, [kWh/ADt]
Recovery boiler, process steam	+17500	
Power boiler, process steam (only own bark)	+3000	
Turbine generators	-2600	+650
External supply	+1200	0
Consumption (including lime kiln)	-14400	-630
Effluent treatment	0	-20
Excess energy from pulp mill (including waste heat)	**+4700**	**0**
Total external supply	**1200**	**0**

Table 2.27: Energy balance for non-integrated 250000 ADt/a bleached Kraft pulp

Department	Process heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Wood handling	230	46
Cooking	1800	55
Washing and screening	0	46
Oxygen delignification	400	38
Bleaching	500	70
Bleach chemical preparation	70	5
Bleached stock screening	0	34
Pulp drying	0	0
Evaporation	3600	25
Recovery boiler	600	51
Power boiler	0	25
Causticizing	0	17
Lime kiln	1300	8
Miscellaneous. pulp mill	1900	115
Total pulp mill	**10400**	**535**
Stock preparation	0	250
Paper machine	7100	420
Total paper mill	**7100**	**670**
Effluent treatment	**0**	**13**
Total per tonne of paper	**17500**	**1218**

Table 2.28: Energy consumption for an integrated bleached Kraft mill with 250000 t/a of surface-sized uncoated fine paper.

Department	Process heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Pulp mill		
Recovery boiler, process steam	+13800	
Power boiler, process steam (Only own bark)	+2300	
Turbine generator	-2100	+512
External supply (incl. lime kiln)	+1300	+36
Consumption	-10400	-535
Effluent treatment	0	-13
Excess energy from pulp mill	**+4900**	**0**
Paper mill		
Consumption	-7100	-670
External supply	+2200	+670
Total external supply	**3500**	**706**

Table 2.29: Energy balance for an integrated bleached Kraft mill with 250000 t/a of surface-sized uncoated fine paper

As shown in the tables above chemical pulping plants are energy-intensive installations that consume high amounts of energy but at the same time produce steam and electrical power on site by use of regenerative fuels. Thus, modern non-integrated kraft pulp mills are energy self-sufficient mainly because of efficient energy recovery by burning 50% of the incoming wood in the recovery boiler (strong black liquor) and the use of bark as auxiliary boiler fuel. Furthermore, secondary energy from different process steps can be recovered as warm and hot water (40-80o C). Fossil fuels are mainly used as support fuel (e.g. oil in the lime kiln).

The conventional power plant configuration in a non-integrated kraft pulp mill is a recovery boiler and a bark boiler feeding a back-pressure turbine with intermediate steam tapping and, possibly, condensing. The recovery boiler acts as a power station where the strong black liquor is burnt and generated heat is utilised for the generation of high-pressure, superheated steam. Part of the energy content in the high-pressure steam is utilised for generating power in a back-pressure turbine. Medium-pressure steam extracted from the turbine and low-pressure exit steam are utilised for covering the heat energy demand in the kraft pulp process. The ratio of electrical effect/heat effect is, usually, 0.2 - 0.3 [Finnish BAT report, 1997].

Malodorous gases are collected and burnt, mainly for environmental protection reasons, as there is no/little net energy generation.

In an integrated pulp and paper mill the excess heat produced by the pulp mill is not quite enough to cover the energy consumption of the paper production. The additional demand for heat has to be produced in wood/bark boilers and auxiliary boilers. Fossil fuel is used as support fuel in bark and sludge boilers and as the main fuel in auxiliary boilers as well.

Peaks in energy consumption are often satisfied by using a small boiler for fossil fuel. Combined heat power plants (CHP) based on gas turbine in combination with a steam boiler and steam turbine are very efficient and a few installations have been made in Europe. CHP plants are used when the need for electrical energy at a paper mill is high because the electrical effect/heat effect ratio is usually 0.8 - 0.9 [Finnish BAT report, 1997].

In the following some additional figures of energy consumption of single process stages of pulp mills are compiled:
- De-icing will consume about 30 MJ of heat as hot water or steam per m^3 of wood processed.
- The total energy consumption in debarking is 7-10 kWh/m^3 of wood [Finnish report]
- The energy for pulp drying (only market pulp) can be of the order of 3 GJ/tonne of pulp or some 25% of the total heat requirement for a kraft pulp mill and 15-20% of the electrical energy.
- The average electrical energy consumption in the manufacture of bleaching chemicals is presented in Table 2.30.

Chemical and (bleaching stage code)		Electrical energy consumption [kWh/kg chemical]
Chlorine dioxide	(D)	10
Oxygen	(O)	0.4
Ozone	(Z)	10
Peroxide	(P)	3.5
Alkali	(E)	1.6

Table 2.30: Average electrical energy consumption in the manufacture of bleaching chemicals, [Finnish report, 1997]

- External treatment of wastewater normally consumes energy [the following figures are compiled from Finnish report, 1997]. Anaerobic treatment is an exception if the energy content in the generated biogas is recovered by burning. The consumption of electrical energy in activated sludge treatment is in the range of 1.2-2 kWh/kg of reduced BOD (aeration and pumping), which is the equivalent of 1 -1.5 kWh/ m^3. The energy consumed in filtration is dependent on the drop in pressure across the medium. For example, the ultrafiltration of coating wastewater consumes 3 - 5 kWh/m^3. Evaporation at low pressure using mechanised vapour recompression consumes 5 - 15 kWh/m^3. Typical specific energy consumption per tonne of bleached kraft pulp is reported as to 3 kWh/t for mechanical treatment and 46 kWh/t for activated sludge treatment of the effluents from mills.

2.2.2.7 Noise (local)

The debarking plant generates noise that can be controlled by carefully insulating the debarking house. There are several other sources of noise like chipping, fans, engines, stacks and steam vents. Trucks and other vehicles used at the plant can cause noise in the vicinity of the mill. From two examples of Swedish pulp mills it can be assumed that the noise level about 500 m from the middle of the pulp plant can be about 50 dB (A) over night and at about 2 km away it can be about 45 dB (A). The guidelines for all existing industries in Sweden is < 45 dB (A) over night at the closest house where people live. This may be difficult to achieve if houses are located very close to the mill as for example within a radius of < 500 meter.

2.2.2.8 Emission to soil and groundwater

If preventive control measures for storage and handling of chemicals are in place, well maintained and controlled operation of pulp and paper mills usually should not give raise to hazardous emissions to soil and groundwater.

A general policy for prevention of, preparations for and response to industrial accidents is usually based on the prevention principle (e.g. Annex IV IPPC-D). That means that the plant is constructed and operated in such a way as to prevent an uncontrolled development of normal operation and as to reducing the consequences of accidents. The best safety techniques are applied.

To prevent hazardous emissions to soil and groundwater from storage and handling of chemicals the safety of industrial installations should be ensured by the following means:

- Design and operation of facilities in such a way that potential pollutant cannot escape
- Possibility of quick and reliable detection of leakage from all parts of the facility which come into contact with the hazardous pollutants.
- Single-walled underground containers are not sufficient for this purpose.
- Quick and reliable detection of leaks of substances and their prevention from escaping and properly disposal. When not double-walled and provided with a leak indicator, the facilities are, as a rule, equipped with a collection system/device of a tight and durable design. As a matter of principle, collection chambers may not have any discharge openings.
- Operating instructions including a monitoring, maintenance and an alarm plan are drawn up and observed.

The technical and environmental aspects of storage and handling of chemicals do not specifically relate to the pulp and paper industry and are therefore only briefly treated. They will be covered by another horizontal BREF on emissions from storage of chemicals (of dangerous substances and bulk material)

With regard to the cessation of activities and in order to avoid any pollution risk and to return the site of operation to a satisfactory state, soil protection is of major importance. An integrated approach requires making sure that at least the following measures are taken:

- Minimisation of the amount of soil that needs to be excavated or replaced due to construction measures
- Minimisation of the additional input of substances into soil during the operation phase of a facility (e.g. additional input due to spillage or due to deposition of airborne substances should not lead to exceeding of precautionary soil levels. Ensuring a clean closure when a facility will be shut down, e.g. cleaning up of contaminated soil, hazardous landfills

2.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden

In diesem Abschnitt sind alle **relevanten** Techniken aufgeführt, die gegenwärtig sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen für die Vermeidung von Emissionen/Abfall und für die Reduzierung von Energie- und Rohstoffverbrauch verfügbar sind. Diese Liste von Techniken, die bei der Festlegung der BVT betrachtet werden, ist nicht erschöpfend und kann bei der Überarbeitung dieses Dokuments fortgeführt werden. Diese Techniken betreffen prozessbezogene und Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen und stellen Verbesserungsmöglichkeiten dar, die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung zu erreichen.

Tabelle 2.31 bietet einen Überblick über die Techniken zur Reduzierung der Emissionen aus der Herstellung von Sulfatzellstoff. In den Zeilen sind die einzelnen verfügbaren Techniken zusammengestellt. Es wurde versucht, in derselben Tabelle zu jeder Technik mögliche Verlagerungseffekte anzugeben. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, die Verlagerungseffekte so zu beschreiben, dass keinerlei kontroverse Diskussion ausgelöst wird. Bei der Bewertung der Verlagerungseffekte gibt es eine Vielzahl von Grauzonen. Weiterhin können sie von anderen Techniken abhängen, die mit der gegebenen Maßnahme zusammenhängen, vom Bezugspunkt, mit dem eine Technik verglichen wird, und von den betrachteten Systemgrenzen. Deshalb sollte die qualitative Bewertung der Verlagerungseffekte nur als Orientierungshilfe für Betreiber und Aufsichtsbeamte verstandenen werden. Sie nennt die Nebenwirkungen, die mit einer Maßnahme möglicherweise verbunden sein können und ist nicht mehr als der Ausgangspunkt für die Betrachtung von Verlagerungseffekten. Die Ergebnisse der Bewertung sollten nicht als zwingend angesehen werden. Weiterhin können einige der Verlagerungseffekte durch die Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vermieden werden. Neben anderen Aspekten hängen die Verlagerungseffekte auch von den spezifischen Verhältnissen jeder Fabrik ab. Deshalb kann eine generelle Aussage schwerlich getroffen werden. Allerdings dürfte die Tabelle aufzeigen, auf welche Umweltmedien (Wasser, Luft, Abfall und Energie) die jeweilige Maßnahme abzielt. Die entsprechenden Abschnitte zu der detaillierten Darstellung jeder Technik liefern weitere Erklärungen.

In den Spalten wird durch die nach oben und nach unten gerichteten Pfeile ("↑" und "↓") die Tendenz der Auswirkungen angedeutet, die durch die verschiedenen Techniken hinsichtlich Emissionen, Rohstoffverbrauch und Betriebsverhältnissen in der Fabrik ausgelöst wird. Nach unten gerichtete Pfeile "↓" weisen auf Einsparungen bei Rohstoffverbrauch und Energieeinsatz und auf Reduktionen von Emissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden hin. Nach oben gerichtete Pfeile "↑" deuten auf eine Erhöhung der Emissionen, des Verbrauchs an Rohstoffen und Energie sowie auf Auswirkungen auf den Produktionsprozess hin. Einige der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung betreffen gleichzeitig mehr als ein Umweltmedium (Wasser, Luft oder Boden). Einige Techniken können eine positive und/oder negative Auswirkung auf andere Umweltmedien oder auf den Rohstoff- und Energieverbrauch haben (Verlagerungseffekte). Die auftretenden Auswirkungen werden mit den Pfeilen ausgedrückt. Bei der Einführung einer bestimmten Maßnahme bedeutet ein in Klammer gesetzter Pfeil "(↑)" eine leichte, oft vernachlässigbare Erhöhung des Rohstoff- und Energieverbrauchs oder von Emissionen in die Umwelt. Die wirtschaftlichen Aspekte (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Tabelle nicht enthalten, werden aber im Text erklärt. Die Angaben zur Wirtschaftlichkeit können nur ein ungefähres Bild liefern und deuten so die Größenordnung der Kosten an. Sie variieren mit der Konzeption der gesamten Anlage und hängen unter anderem von der Größe der Fabrik und der Verträglichkeit der Maßnahme mit anderen Anlagenteilen ab.

Jede Technik ist mit einem Bezugspunkt (Abschnittsnummer) versehen, die zur Auffindung des entsprechenden Textabschnittes führt, wo jede einzelne Technik im Detail dargestellt ist. Im

Folgenden wird Tabelle 2.31 anhand der kurzen Erörterung einer Technik (siehe Abschnitt 2.3.1 "Trockenentrindung" erklärt:

Beim Übergang von der Nass- zur Trockenentrindung bleibt der Chemikalienverbrauch unverändert. Der Energieverbrauch beim Entrinden steigt wegen des Betriebes der Entrindungstrommel in trockener Fahrweise an. Auf der anderen Seite kann eine beträchtliche Energiemenge gewonnen werden, wenn die Rinde als Hilfsenergie mit niedrigem Wassergehalt eingesetzt wird. Die Trockenentrindung führt zu einer beträchtlichen Verminderung der Abwasseremissionen, z.B. geht die Abwassermenge um 5 - 10 m^3/t zurück, die Menge an abfiltrierbaren Stoffen um 2 - 10 kg/t und die gesamte CSB-Fracht kann um bis zu 10 % reduziert werden. Es treten keine Auswirkungen auf die Abgasemissionen und den Anfall an festen Abfällen auf.

In diesem Kapitel werden die wichtigsten technischen Möglichkeiten mit der besten Leistung im Hinblick auf Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit herausgestellt. Es wurde versucht, die einzelnen Maßnahmen entsprechend einer einheitlichen Struktur darzulegen, um eine ähnliche Darstellung aller Techniken zu haben, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden. Jede Technik wird mit Beschreibung, Darstellung der Anwendbarkeit, wichtigsten erreichten Emissionswerten/Umweltnutzen, Überwachung von Emissionen, Verlagerungseffekten, Betriebserfahrungen, Angaben zur Wirtschaftlichkeit, treibenden Kräften für die Einführung dieser Technik, Referenzanlagen und Literaturhinweisen wiedergegeben. Die meisten Techniken können in zahlreichen Anlagen in Europa angetroffen werden, während einige nur in wenigen Fabriken eingeführt sind.

Die richtige Kombination der aufgelisteten Techniken bietet den Fabriken die Möglichkeit, sie gleichzeitig sowohl zum Schutz der Umwelt als auch wirtschaftlich durchzuführen. Allerdings ist es dem Betrieb überlassen, diejenigen möglichen Techniken einzusetzen, mit denen die im nächsten Kapitel "Beste verfügbaren Techniken" dargelegten Verbrauchs- und Emissionswerte erreichbar sind. Die Beschreibung jeder Technik schließt einen Abriss der Vorteile, der Nachteile und der Folgen durch die Anwendung einer bestimmten Technik ein.

Zellstoff- und Papierfabriken sind durch ein relativ hohes Maß an Integration gekennzeichnet, so dass die meisten Verbesserungsmöglichkeiten prozessintegrierter Art sind. Aber es sind auch einige end-of-pipe-Techniken beschrieben, die als BVT angesehen werden. Man sollte bedenken, dass bestimmte Überschneidungen zwischen den nachfolgend beschriebenen prozessintegrierten Lösungen und externen Verminderungsmaßnahmen bestehen.

Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden	Auswirkungen auf das Verbrauchs- und Emissionsniveau (Verlagerungseffekte)					Auswirkung auf den Produktionsprozess
	Chemikalien-verbrauch	Energieverbrauch	Abwasser-emissionen	Abgas-emission	Fester Abfall	z.B. Energiebilanz, Ausbeute, Anlagenbetrieb
2.3.1 Trockenentrindung	k.A.	↑ beim Entrinden	↓ CSB, ↓ Abf. St., ↓ Menge	k.A.	k.A.	↑ Energieerzeugung in Rindenkesseln
2.3.2 Verlängertes und modifiziertes Kochen (diskontinuierlich oder kontinuierlich) auf niedrige Kappa-Zahl	↑ Kochen ↑ Kalkbedarf ↓ Bleichen	(↑) Kochen (c), ↓ Kochen (b) (↑) Eindampfung, (↑) Kalkofen	↓ CSB ↓ AOX	↑Geruch	k.A.	↑ Energieerzeugung, (↑/↓) endgültige Zellstoff-ausbeute
2.3.3 Sortieren in geschlossenem Kreislauf	k.A.	k.A.	↓	k.A.	k.A.	k.A.
2.3.4 Delignifizierung mit Sauerstoff	↑ in der O_2-Stufe ↓ Bleichen	↑ O_2-Stufe, ↑ Weißlaugen-oxidation, ↑ Sodakessel- und Kalkofen	↓	k.A.	(↑) sedi-mentierte Schlämme	(↑ Energieerzeugung)
2.3.5 Bleichen mit Ozon	↑ in der O_3-Stufe ↓ Bleichen	↑ O_3-Stufe, ↑ O_3-Erzeugung, ↓ Bleichen	↓	k.A.	k.A.	k.A.
2.3.6 Techniken des elementarchlorfreien Bleichens (ECF-Bleiche) (im Vergl. zu TCF) [1)] (bei gleich niedriger Kappa-Zahl am Anfang)	(↑/↓)	(↑/↓)	↑ AOX, ↑ ClO_3^-		k.A.	k.A.
2.3.7 Techniken des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche) (im Vergl. zu ECF) [1](bei gleich niedriger Kappa-Zahl am Anfang)	(↑/↓)	(↑/↓)	(↓ CSB), ↓ AOX, ↑ N Kom-plexbildn.)	k.A.	k.A.	k.A.
2.3.8. Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage	↑ Bleichen	↑ Eindampfung	↓	(↑)	(↑ sedi-mentierte Schlämme)	(↓ Wasserverbrauch)
2.3.9 Sammlung nahezu aller Leckagewässer	k.A.	(↑ Eindampfung)	↓	k.A.	k.A.	k.A.
2.3.10 Effizientes Waschen und Prozessskontrolle	↓ Bleichen ↓ Kochen	↑ Wäsche (elektr.)	↓	k.A.	k.A.	
2.3.11 Strippen der am stärksten belasteten Kondensate und Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess	↓ Bleichen	↑ Dampfverbrauch	↓ CSB, N	↓Geruch	k.A.	k.A.
2.3.12 Puffertanks für konzentrierte Prozessteilströme	k.A.	k.A.	↓	k.A.	k.A.	k.A.
2.3.13 Biologische Abwasserbehandlung	↑	↑	↓	(↑ Ge-ruch)	↑	Schlammverbrennung ?
2.3.14 Dritte Stufe für die Abwasser-behandlung (Fällung)	↑	↑	↓	k.A.	↑	Schlammverbrennung ?
2.3.15 Erhöhung des Feststoffgehaltes der Schwarzlauge	k.A.	↑ Eindampfung	k.A.	↓ SO_2, (↑NOx)	k.A.	↑ Erforderl. Eindampfkap. ↑ Energieerz. im Rückge-win.kes., ↑ Prod.kapazit.
2.3.16 Einbau von Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel	k.A.	(↑)	k.A.	↓	k.A.	(↑/↓) Energiebilanz
2.3.17 Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen im Laugen-Rückgewinnungskessel	↓ S-Ansatzbedarf ↑ S-Überschuss	↑ System zur Erfassung und Ableitung	k.A.	↓ TRS	k.A.	↑ Energieerzeugung (Verbrennung mit Wärme-rückgewinnung)
2.3.18 Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen im Kalkofen	↓ S-Ansatzbedarf ↑ S-Überschuss	↑ System zur Erfassung und Ableitung	k.A.	↓ TRS	k.A.	(↑ Energieerzeugung)
2.3.19 Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen in einem separaten Kessel mit Wäscher	↓ S-Ansatzbedarf ↑ S-Überschuss	↑ System zur Erfassung und Ableitung	k.A.	↓ TRS, (↑ NOx)	k.A.	↑ Energieerzeugung (Verbrennung mit Wärme-rückgewinnung)
2.3.20 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NOx-Emissionen in Hilfskesseln und im Kalkofen	k.A.	k.A.	k.A.	↓NOx	k.A.	k.A.
2.3.21 Einsatz der Technik der selektiven nicht-katalytischen Reduktion bei Rinden-kesseln	↑ Harnstoff/NH_3	↑ System zur Erfassung und Ableitung	k.A.	↓NOx (↑ NH_3)	k.A.	k.A.
2.3.22 Technik der Luftzuführung über der Flammenzone für Rückgewinnungskessel	k.A.	k.A.	k.A.	↓NOx	k.A.	k.A.
2.3.23 Verbesserte Kalkschlammwäsche	k.A.	k.A.	k.A.	↓TRS	k.A.	k.A.
2.3.24 Elektrofilter für Rindenkessel und Kalkofen	k.A.	↑ Stromverbrauch	k.A.	↓ Staub	k.A.	k.A.

Legende/Fußnote:
↑ = Erhöhung; ↓ = Reduktion; k.A. = keine (oder vernachlässigbare) Auswirkung. (↑/↓) = kann oder kann keine Auswirkung haben/geringe Auswirkung in Abhängigkeit von den gegebenen Bedingungen; [1)] unter der Annahme einer vorhandenen und wirksamen Abwasserbehandlung

Tabelle 2.31: Übersicht über verfügbare Techniken für die Sulfatzellstoffherstellung und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb

2.3.1 Trockenentrindung

Beschreibung der Technik: Bei der Holzvorbereitung kann die Ableitung von organischen und abfiltrierbaren Stoffen durch Trockenentrindung reduziert werden. In Nassentrindungs-maschinen werden die Holzprügel in einem Wasserbecken rotiert und die Rinde durch Reibung zwischen den Prügeln unter Einsatz großer Wassermengen entfernt. In diesem Prozess wird das eingesetzte Wasser zurückgeführt, aber eine bestimmte Menge geht durch den Überlauf, mit dem die entfernte Rinde wegtransportiert wird, verloren. In Nassentrindungsmaschinen werden je Tonne Zellstoff 3 bis 10 m^3 Wasser abgeleitet. Aus der Rinde werden dabei organische Stoffe wie Harzsäuren, Fettsäuren etc. und hochfarbige Verbindungen herausgelöst und gelangen so in diesen Abwasserstrom.

In den letzten Jahren wurde die Trockenentrindung in vielen Fabriken installiert. Dabei wird Prozesswasser nur für die Wäsche und Enteisung der Prügel verwendet (unter kalten klimatischen Bedingungen wird zum Auftauen des Holzes Wasser oder Dampf eingesetzt) und mit einem Minimum an Abwasseranfall und Abwasserbelastung in wirksamer Art und Weise rückgeführt. Bei der Trockenentrindung fällt die Rinde mit einem niedrigeren Wassergehalt an, was zu einer besseren Energiebilanz der Fabrik führt. Für die Entrindung wird weniger Wasser benötigt und die Menge an gelösten organischen Stoffen wird reduziert.

Die unbehandelten Abwässer aus der Entrindungsanlage sind für aquatische Organismen giftig. Die biologische Behandlung hat sich als sehr wirksam für die Elimination der Toxizität erwiesen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozess-integrierte Technik. Die Trockenentrindung oder eine Entrindung mit niedrigem Abwasseranfall kann sowohl in neuen als auch in bestehenden Fabriken angewandt werden. Trockenentrindungsmaschinen dominieren bereits in der Branche und die nassen Systeme werden nach und nach ersetzt. Neue Fabriken wenden diese Technik nahezu ausschließlich an und ebenso eine zunehmende Anzahl der bestehenden Fabriken.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Bei der Trockenentrindung liegt die Abwassermenge aus der Holzbehandlung im Bereich 0,5 – 2,5 m^3/t Zellstoff. Durch die interne Wasserkreislaufführung wird eine Verminderung des Abwasseranfalls erreicht. Beim Wechsel von Nassentrindung zu Trockenentrindung reduziert sich der Abwasseranfall oft um 5 - 10 m^3/t Zellstoff. Mit der Trockenentrindung kann die gesamte CSB-Fracht deutlich reduziert werden. Typische Abwassermengen und Frachten aus der Trockenentrindung sind:

Entrindungstechnik	Abwassermenge [m^3/t Zellstoff]	BSB_5 [kg/t Zellstoff]	CSB [kg/t Zellstoff]	Gesamt-P [g/t Zellstoff]
Nassentrindung und Rindenpresse	3 - 10	5 - 15	20 - 30	25 -35
Trockenentrindung und Rindenpresse	0,5 – 2,5	0,5 – 2,5	1 - 10	10 - 20

Tabelle 2.32: Schmutzfracht im Abwasser aus der Nass- und Trockenentrindung vor der biologischen Behandlung [Finnish Report, 1997]; der BSB7 wurde entsprechend dem Vorschlag in diesem Bericht mit der Formel BSB7/1,16 = BSB5 in BSB5 umgerechnet; die Angabe für die Schmutzkonzentration in kg/m3 Holz wurde mit der Annahme eines typischen spezifischen Holzverbrauchs von 5 m3 Holz/t Zellstoff in die Schmutzfracht kg/t Zellstoff umgerechnet

Durch die dem Kesselhaus zugeführte trockenere Rinde wird die Energieeffizienz verbessert, was den Rückgang der Emissionen je Menge produzierter Energie bedeutet.

Verlagerungseffekte: Der Energieverbrauch für die Trockenentrindung kann wegen des Betriebs der Entrindungstrommel in Trockenentrindungs-Fahrweise steigen. Auf der anderen Seite können beträchtliche Energiemengen gewonnen werden, wenn die Rinde als Hilfsbrennstoff mit einem niedrigeren Wassergehalt eingesetzt wird.

Betriebserfahrungen: In den Fällen, in denen die Trockenentrindung zum Einsatz kommt, wurde eine verbesserte Wasserkreislaufführung in Verbindung mit Systemen zur Entfernung von Sand und Feststoffen erfolgreich eingesetzt. Die Trockenentrindung erfordert üblicherweise waldfrisches Holz, um gute Entrindungsergebnisse zu erzielen.

Wirtschaftliche Aspekte: Die Kosten von Trommel-Entrindungsmaschinen in Trockenfahr-weise sollten sich nicht beträchtlich von Nasssystemen unterscheiden. Für eine Kapazität von 1500 t/d Zellstoff betragen die üblichen Investitionskosten für ein komplett neues Trockenentrindungssystem um 15 Mio. EUR.

Die Umrüstung eines bestehenden Nassentrindungssystems auf ein Trockenentrindungssystem kostet 4 - 6 Mio. EUR. Diese Kosten schließen Maschinenteile und den Umbau mit ein. Die Kosten für mögliche anlagenspezifische Notwendigkeiten für neue Gebäude, spezielle Lärmminderungsmaßnahmen oder ähnliches sind darin nicht enthalten, können die Kosten aber weiter erhöhen. In beiden Fällen liegen die Betriebskosten bei 250000 – 350000 Euro/a, die beträchtliche Kapitalkosten beinhalten können.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Durch die Trockenentrindung wird die Fracht an Feststoffen, BSB und CSB sowie an aus der Rinde herausgelösten organischen Stoffen wie Harzsäuren und Fettsäuren im Abwasser vermindert. Einige dieser Substanzen werden als gewässertoxisch angesehen. Diese Maßnahme erhöht auch die Energieausbeute.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa und Nordamerika.

Literatur
[J. Pöyry, 1997a], [SEPA-Report 4712-4, 1997], [Finnish BAT Report, 1997]

2.3.2 Verlängertes und modifiziertes Kochen (diskontinuierlich oder kontinuierlich) auf niedrige Kappa-Zahl

Beschreibung der Technik: Vor der Bleichanlage wird die Delignifizierung in Kvon Hackschnitzeln in Kochern durchgeführt, in vielen Fabriken auch unter Einsatz von Sauerstoff. Deshalb sollten die Maßnahmen “Verlängertes modifiziertes Kochen” nach 2.3.2 und “Delignifizierung mit Sauerstoff” nach 2.3.4 als eine Einheit betrachtet werden, da umweltseitig der gesamte Delignifizierungsgrad wichtig ist, der sich als Ergebnis der Delignifizierung in den Prozessstufen vor der Bleichanlage ergibt. Es sollte ein Gleichgewicht zwischen der Reduktion der Kappa-Zahl beim Kochen und der Delignifizierung mit Sauerstoff bestehen, da bei letzterem eine viel höhere Selektivität gegeben ist (siehe 2.3.4). Für die Zellstofffabrik ist die Steuerung der verschiedenen Prozesse wichtig, um bei gegebenem Restligningehalt die Ausbeute und die Festigkeitseigenschaften zu optimieren.

Zur Verringerung des Restligningehaltes (niedrigere Kappa-Zahl) des der Bleichanlage zugeführten Zellstoffs sowie zur Reduzierung des Verbrauchs teuerer Bleichchemikalien wurde Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre das Verfahren der verlängerten Delignifizierung (oder des modifizierten Sulfatzellstoffkochens) eingeführt. Die Reduktion des Restligningehaltes führt zu einer Verminderung der abgeleiteten Schadstofffrachten, während sich gleichzeitig die dem Laugen-Rückgewinnungskessel zugeführte Menge an organischen Stoffen erhöht. Zur Herstellung von Sulfatzellstoff wurden mehrere modifizierte, sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Verfahren entwickelt und großtechnisch angewandt.

Kontinuierliches Kochen
Bei den kontinuierlichen Verfahren stellen das modifizierte kontinuierliche Kochen (MCC), das verlängerte modifizierte kontinuierliche Kochen (EMCC) und das isothermische Kochen (ITC) die drei Alternativen dar. Beim MCC-Verfahren ist die Kochzone des Kochers in zwei Zonen unterteilt, die so genannte Gleichstromzone als ersten Schritt, gefolgt von der Gegenstromzone. Die Zugabe von Weißlauge wird zwischen den beiden Zonen aufgeteilt. Der Zweck dieser Modifikation besteht darin, die Alkali-Anfangskonzentration zu verringern, und während des Kochprozesses eine gleichmäßige Alkalikonzentration und eine niedrige Konzentration an gelöstem Lignin im abschließenden Teil des Kochprozesses aufrecht zu erhalten. Das EMCC-Verfahren wurde

auf der Basis des MCC-Verfahrens entwickelt. Der Unterschied beim EMCC-Verfahren besteht darin, dass Weißlauge auch zur Waschzone zugegeben wird, um die weitere Delignifizierung im Kocher zu verlängern.

Die neueste Entwicklung bei der Technik des Kochens ist das isothermische Kochen (ITC), das eine weitere Verbesserung des MCC-Verfahrens darstellt. Beim ITC-Verfahren wird der gesamte Kocherinhalt zur Delignifizierung genutzt, was mildere Bedingungen bedeutet (niedrigere Kochtemperatur), wodurch die Zellstofffestigkeit erhalten bleibt. In Abhängigkeit von der angestrebten Kappa-Zahl ist die Menge an zugegebenen Kochchemikalien entweder unverändert oder leicht erhöht. Da das ITC-Verfahren bei niedrigerer Kochtemperatur erfolgt, ergibt sich keine Erhöhung des Dampfverbrauches und der Einfluss auf die Ausbeute ist nicht wesentlich.

Diskontinuierliches Kochen
Bei den diskontinuierlichen Systemen gibt es drei großtechnisch angewandte Verfahren: Das Rapid Displacement Heating (RDH), das SuperBatch und das EnerBatch. Beim RDH- und Superbatch-Verfahren wird eine Vorbehandlung (Imprägnierung) mit Schwarzlauge durchgeführt, um den Wärmeverbrauch zu reduzieren und gleichzeitig die Sulfid-Anfangskonzentration zu erhöhen und die Alkalizugabe zu vermindern. Beim EnerBatch-Verfahren wird eine Vorbehandlung mit Weißlauge mit nachfolgender Vorbehandlung mit Schwarzlauge durchgeführt. Alle diese Verdrängungskochprozesse weisen eine wesentliche Energieeinsparung und eine verbesserte Zellstoffqualität auf.

Der Ligningehalt wird üblicherweise als Kappa-Zahl nach einer standardisierten Methode bestimmt. Herkömmliche Kochprozesse haben bezüglich des Erreichens möglichst niedriger Kappa-Zahlen ohne Verschlechterung der Zellstoffqualität ihre Grenzen (diese Kappa-Zahl liegt bei 30 - 32 für Nadelholz und 18 - 20 für Laubholz). Durch Einsatz mehrerer Modifikationen des Kochprozesses konnte die Kappa-Zahl beim Kochen von Nadelholz auf ein Niveau von 18 - 22 und für Laubholz auf 14 - 16 reduziert werden, während die Ausbeute und die Festigkeitseigenschaften dennoch erhalten bleiben. Die Reduzierung der Kappa-Zahl hängt neben anderen Faktoren von den angewandten Kochtechnologien ab und davon, ob nachgerüstete oder neue Anlagen zum Einsatz kommen.

Beispielhaft werden die zeitlichen Trends der Kappa-Zahlen in finnischen Sulfatzellstofffabriken in Abbildung 2.8 dargestellt.

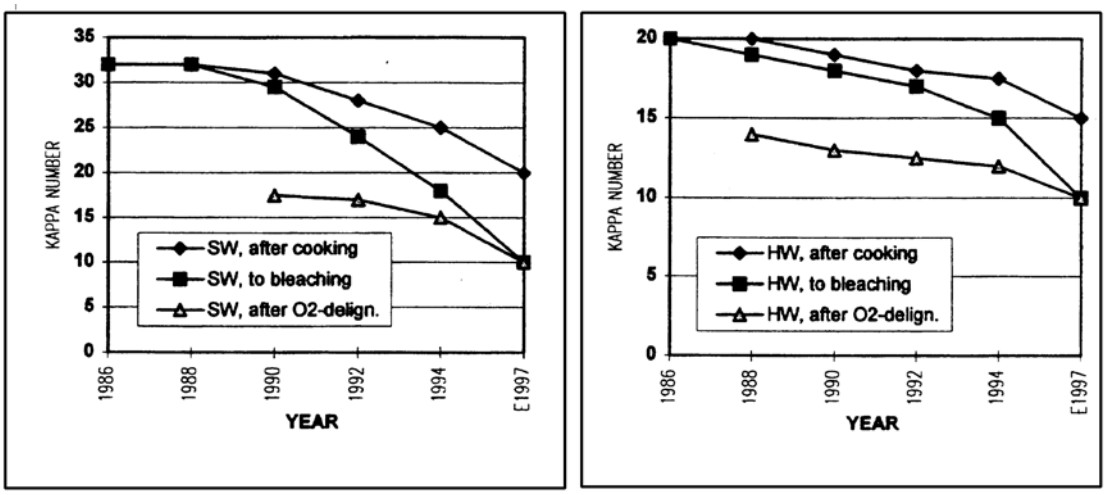


Abbildung 2.8: Zeitliche Trends für die Kappa-Zahl in finnischen Sulfatzellstofffabriken [Finnish BAT Report, 1997]
Kappa number = Kappa-Zahl; SW = softwood = Nadelholz; HW = hardwood = Laubholz; after cooking = nach dem Kochen; to bleaching = vor dem Bleichen; after O2-delign. = nach der Delignifizierung mit Sauerstoff; year = Jahr

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Maßnahme kann in neuen Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden und in begrenztem Umfang in bestehenden Fabriken.

Mehrere kontinuierliche Kocher wurden auf das ITC-Verfahren umgerüstet, ohne in die Produktion massiv einzugreifen. Allerdings ist diese Möglichkeit in jedem Einzelfall genau zu untersuchen (das hat mit den Abmessungen der Druckbehälter in Bezug auf die Kapazität zu tun). Einige andere kontinuierliche Kocher wurden zum MCC-Verfahren umgebaut. Um dies zu erreichen, wird in den Kocher an verschiedenen Stellen Weißlauge gepumpt. Mit dem MCC- und ITC-Verfahren ist es möglich, den Zellstoff auf niedrigere Kappa-Zahlen ohne Qualitätsverlust zu kochen (Kappa-Zahlen von 20 - 24 für Nadelhölzer und 14 - 18 für Laubhölzer). Bei kontinuierlichen Kochersystemen würde durch das verlängerte Kochen die Anlagenkapazität zurückgehen, was eine höhere Kostenbelastung für die Zellstofffabrik bedeutet.

Beim diskontinuierlichen Kochen wird die verlängerte Delignifizierung mittels Verdrängung und Techniken zum Recycling der Schwarzlauge durchgeführt. Wenn die Kocherkapazität groß genug ist, ist die Nachrüstung herkömmlicher Anlagen mit diesem Verfahren möglich. Bei neuen Anlagen kann die Kappa-Zahl nach dem Kochen für Nadelhölzer bei 15 - 16 und für Laubhölzer bei 12 gehalten werden. In der Praxis ist die Modifikation eines bestehenden diskontinuierlichen Kochverfahrens durch zusätzliche diskontinuierliche Kocher und zusätzliche Investitionskosten ohne Kapazitätsverluste bei der Kochanlage möglich.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Ein niedrigrer Restligningehalt bedeutet weniger Ableitungen aus der Bleichanlage und damit nicht nur weniger organische Stoffe, sondern auch weniger Nährstoffe im Abwasser. Eine Kappa-Einheit entspricht ungefähr 0,15 % Lignin im Zellstoff. Wenn die Kappa-Zahl im Zellstoff beim Kochen bei der Delignifizierung mit Sauerstoff (siehe 2.1.6) um eine Einheit erniedrigt werden kann, würde sich die emittierte CSB-Fracht um ungefähr 2 kg/t Zellstoff erniedrigen (die CSB-Fracht aus der TCF-Bleiche kann bis zu 3 kg CSB/Kappa-Einheit betragen). Um eine Zahl für die gesamte Emission aus der Bleichanlage zu bekommen, muss man die Schadstofffracht addieren, die im geschlossenen Teil des Verfahrens nicht ausgewaschen wurde (siehe 2.3.10).

Verlagerungseffekte: Das verlängerte Kochen beeinträchtigt verschiedene Elemente des Prozesses zur Herstellung von Sulfatzellstoff:

- der Verbrauch an wirksamem Alkali (NaOH + Na_2S) kann sich leicht erhöhen
- die Menge der dem Rückgewinnungssystem zugeführten gelösten Stoffe steigt an
- die Wärmeerzeugung im Laugen-Rückgewinnungskessel steigt
- der Bedarf an Bleichchemikalien nimmt ab
- aus dem Bleichen resultiert eine geringere Schadstofffracht im Abwasser
- beim modifizierten diskontinuierlichen Kochen sinken der Energieverbrauch und die Menge an Abblasdampf in der Kochstufe, aber der Dampfverbrauch für die Schwarzlauge-eindampfung kann steigen.

Die Auswirkung des verlängerten Kochens auf die Produktion ist sehr standortspezifisch.

Betriebserfahrungen: Reduktionen der Kappa-Zahlen um 6 - 7 Einheiten für Nadelholz und um 4 - 5 für Laubholz wurden ohne Abfall der Festigkeitseigenschaften erreicht.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer Fabrik mit einer Produktion von 1500 t Zellstoff/d liegen die Investitionskosten für die Modifikation eines bestehenden herkömmlichen Kochsystems in ein System mit verlängerter Delignifizierung bei 4 - 5 Mio. EUR. Um sich die BSB- und CSB-Reduktion zu Nutze zu machen, sollte auch die Wascheffizienz erhöht werden. Dies würde zu Mehrkosten von 2 - 4 Mio. EUR führen. Soweit die Nachrüstung bei gleichbleibender Kapazität durchgeführt wird, bedarf es jedoch beim ITC-Verfahren keiner zusätzlichen Wascheinrichtungen. Bei kontinuierlich betriebenen Kochern oder im Falle, dass der Laugen-Rückgewinnungskessel bereits bei maximaler Kapazität betrieben wird, kann der Produktionsverlust 4 - 8 % betragen. In solchen Fällen müssen Wege zur Anpassung an die höhere Feststoffkonzentration gefunden werden wie zusätzliche Eindampfungsstufen zur Erhöhung der Feststoffkonzentration in der Schwarzlauge, Anthraquinonzugabe zum Aufschluss oder Installation einer größeren Kesselkapazität.

Im Allgemeinen ist die Auswirkung des verlängerten Kochens auf die Produktion sehr standortspezifisch. Sofern in einer Fabrik das System zur Chemikalienrückgewinnung einen Engpass darstellt, riskiert man durch die Einführung der verlängerten Delignifizierung aufgrund der gestiegenen Anforderungen an diesen Teil des Systems einen Produktionsverlust (siehe oben).

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der Abwasserbelastung ist der Hauptgrund für die Einführung dieser Technik. Ein Vorteil ist auch die Reduzierung des Verbrauchs an teueren Bleichchemikalien. Diese Reduzierung muss mit dem möglichen Verlust an Ausbeute bzw. erhöhtem Holzverbrauch verglichen werden, um so mögliche Nettokosten-einsparungen für jeden Einzelfall ermitteln zu können.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [Bowen, 1990]

2.3.3 Sortieren im geschlossenen Kreislauf

Beschreibung der Technik: Das Wassersystem in einer Sortieranlage für ungewaschenen Zellstoff kann völlig geschlossen sein, was in den meisten europäischen Fabriken der Fall ist. Mit moderner Holzvorbehandlung und modernem Kochprozess verbleiben nach dem Kochen weniger als 0,5 % Äste und Splitter im Zellstoff. Die Kreislaufschließung trägt zur Reduktion der organischen Stoffe in den Abwässern bei, die anschließend zurückgewonnen und im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt werden. Der Ansatz ist, die abgetrennten Faserstoffe im Gegenstrom zum Faserstrom zu führen, was nach und nach den Feststoffgehalt der Lauge erhöht.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik, die sowohl in neuen als auch in bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden kann.
Das Schließen des Waschwasser- und Stoffkreislaufes kann die Ergänzung oder die Entfernung von bestehenden Anlagen (Teilen) durch neue Anlagen erfordern, um einen niedrigeren Wasserverbrauch zu erreichen sowie um über korrosionsbeständigere Materialien zu verfügen. In wenigen bestehenden Fabriken kann die Erhöhung der Kapazität der Eindampfanlage oder des Laugen-Rückgewinnungskessels erforderlich werden, um die verbesserte Kreislauf-schließung in der Wasch- und Sortierabteilung zu meistern.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Kreislaufschließung trägt zur beträchtlichen Reduktion der organischen Stoffe im Abwasser bei. Diese werden anschließend zurückgewonnen und im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt. So weist die Sortieranlage keine Abwasserableitungen auf.

Verlagerungseffekte: Aufgrund der erhöhten einzudampfenden Flüssigkeitsmenge steigt der Energieverbrauch.

Betriebserfahrungen: Die Maßnahme wird seit den 80er Jahren mit gutem Erfolg angewandt. In Finnland z.B. wird das Sortieren und das Waschen des Zellstoffs in fast allen Fabriken praktiziert.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für das Sortieren im geschlossenen Kreislauf liegen bei neuen Fabriken üblicherweise bei 4 - 6 Mio. EUR und bei bestehenden Fabriken bei 6 - 8 Mio. EUR. Für eine Produktionskapazität von 1500 t/d Zellstoff betragen die Betriebskosten 0,3 – 0,5 Mio. EUR/a.
Ein wichtiger Entwicklungsschritt beim Sortieren ist die heute verfügbare Möglichkeit, das Sortieren mit höheren Zellstoffkonsistenzen als früher durchzuführen. Folglich sind die Investitionskosten und der Stromverbrauch niedriger.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der Abwasseremissionen ist der wichtigste Grund für die Einführung dieser Technik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur
[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SSVL 1974]

2.3.4 Delignifizierung mit Sauerstoff

Beschreibung der Technik: Nach dem Kochen der Hackschnitzel enthalten die Fasern noch etwas Restlignin, das vor dem abschließenden Bleichen entfernt werden muss. Um die Faserstofffestigkeit zu erhalten, muss das Lignin in selektiver Art und Weise mit einem Minimum an Abbau des cellulosischen Anteils der Faser und mit einem Minimum an Ausbeuteverlust entfernt werden. Etwa die Hälfte des verbleibenden Lignins kann aus dem ungewaschenen Zellstoff durch Zugabe von Sauerstoff zur alkalischen Fasersuspension entfernt und zurückgewonnen werden. Bei der Delignifizierung mit Sauerstoff werden Sauerstoff, oxidierte Weißlauge und Magnesiumsulfat in einem Reaktor mit dem Zellstoff entweder bei hoher Konsistenz (25 – 30 %) oder mittlerer Konsistenz (10 – 15 %) vermischt. Die Stufe für die Delignifizierung mit Sauerstoff wird auch als Sauerstoffbleiche bezeichnet (Sauerstoffstufen werden heutzutage in der Bleichanlage eingesetzt und in diesem Bericht wird die Bezeichnung "Delignifizierung mit Sauerstoff" für die Verarbeitung von ungebleichtem Zellstoff verwendet). Zur Aufrechterhaltung der Natriumbilanz der Fabrik wird in der Sauerstoffstufe normalerweise oxidierte Kochflüssigkeit eingesetzt, in der hauptsächlich Natriumhydroxid die alkalische Komponente darstellt und in der Natriumsulfid zu Natriumthiosulfat oxidiert wird. Der Delignifizierungsreaktor steht unter Druck und die Temperatur steigt auf ca. 100 °C.

Die Delignifizierung mit Sauerstoff erfolgt in einer oder zwei Stufen nach dem Kochen und vor dem Bleichen und es wird ein Delignifizierungsgrad von 40 bis 60 % erreicht. Ein Wirkungsgrad von mehr als 40 % erfordert normalerweise zweistufige Anlagen. Die Ablauge wird im Gegenstrom zum Chemikalienrückgewinnungssystem geführt. In Abbildung 2.9 und Abbildung 2.10 sind zwei Beispiele für ein modernes Verfahrens-Layout für die einstufige und zweistufige Delignifizierung wiedergegeben.

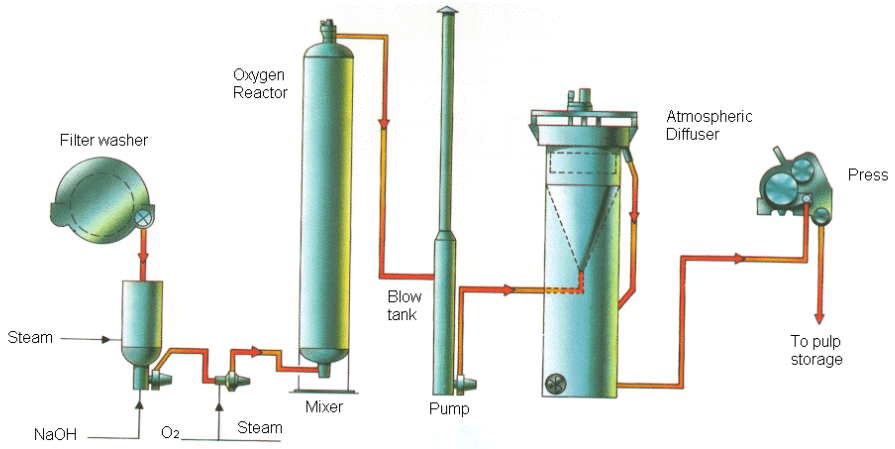


Abbildung 2.9: Einstufige Delignifizierung mit Sauerstoff
Atmospheric Diffuser = Diffusionswaschanlage unter Atmosphärendruck; Blow tank = Blastank; Filter washer = Filtrierwäscher; Mixer = Mischer; Oxygen Reactor = Sauerstoffreaktor; Pump = Pumpe; Press = Presse; Steam = Dampf; To pulp storage = zur Zellstoffspeicherung

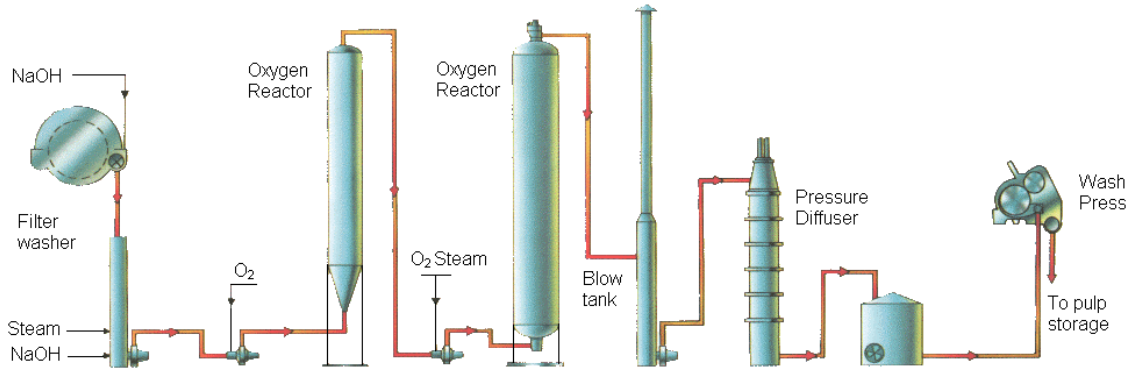


Abbildung 2.10: Zweistufige Delignifizierung mit Sauerstoff
Atmospheric Diffuser = Diffusionswaschanlage unter erhöhtem Druck; Blow tank = Blastank; Filter washer = Filtrierwäscher; Mixer = Mischer; Oxygen Reactor = Sauerstoffreaktor; Pump = Pumpe; Steam = Dampf; To pulp storage = zur Zellstoffspeicherung; Wash press = Waschpresse

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Maßnahme kann in neuen und in bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden, aber nicht in der gleichen Weise und zu den gleichen Kosten.

Die Installation der Delignifizierung mit Sauerstoff in einer bestehenden Sulfatzellstofffabrik kann zum Rückgang der Zellstoffproduktion führen, wenn im gesamten Rückgewinnungssystem nicht genügend freie Kapazität vorhanden ist.

Der zusätzliche Dampfbedarf für die Eindampfanlage liegt bei 0 - 4 % für Hochkonsistenzsysteme und bei 4 - 10 % für Systeme mit mittlerer Konsistenz. Die gesamte zusätzliche Feststofffracht beträgt für Nadelholz ca. 70 kg/t und für Laubholz 45 kg/t. Die Dampferzeugung über die überschüssigen Feststoffe liegt ungefähr 1,5 – 2,5 % niedriger als der Anstieg der Feststofffracht, da der Heizwert der Schwarzlauge aus der Sauerstoffstufe niedriger ist.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Hauptnutzen der Delignifizierung mit Sauerstoff ist die Verringerung des Chemikalienbedarfs für das abschließende Bleichen, die Senkung der Kosten für Bleichchemikalien sowie der Rückgang der Schadstofffracht aus der Bleichanlage (CSB und chlorierte organische Verbindungen aus dem abschließenden Bleichen im Falle der ECF-Bleiche). Moderne Fabriken sind immer für ein modifiziertes Kochen und eine Delignifizierung mit Sauerstoff konzipiert. Hinsichtlich der Umweltauswirkungen (Einleitungen von CSB und AOX) sind beide Techniken zusammen zu betrachten.

Tabelle 2.33 fasst die Kappa-Zahlen zusammen, die derzeit mit verschiedenen Delignifizierungstechniken erreicht werden und gibt einen groben Vergleich der CSB-Frachten, die im Abwasser mit und ohne verlängerte Delignifizierung zu erwarten sind.

Delignifizierungs-technologien	**Kappa-Zahl für Laubholz**	**Kappa-Zahl für Nadelholz**	**Berechnete CSB-Fracht in [kg/t] aus der Bleichanlage**	
			Laubholz	**Nadelholz**
Herkömmliches Kochen	14 -22	30 - 35	28 - 44	60 - 70
Herkömmliches Kochen + Delignifiz. mit Sauerstoff	13 - 15	18 - 20	26 - 30	36 - 40
Verlängertes/modifiziertes Kochen	14 -16	18 - 22	28 - 32	36 - 44
Verlängertes Kochen + Delignifiz. mit Sauerstoff	8 -10	8 -12	16 - 20	16 - 24

Tabelle 2.33: Derzeit mit verschiedenen Delignifizierungstechnologien erreichte Kappa-Zahlen und Vergleich der berechneten CSB-Frachten im Abwasser ohne Berücksichtigung der Waschverluste

Die Reduktion der Kappa-Zahl, der organischen Stoffe und des Chemikalienverbrauchs bei der Delignifizierung mit Sauerstoff steht in engem Zusammenhang mit der Wascheffizienz zwischen den Stufen. Die erwähnten Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz sind ohne effizientes Waschen nicht erreichbar (siehe 2.3.10).

Verlagerungseffekte: Bezüglich des Energieverbrauchs führt diese Maßnahme aufgrund der gelösten organischen Stoffe zu leicht erhöhter Energierückgewinnung, aber auch zu einem niedrigeren Heizwert der Schwarzlauge wegen der anorganischen Stoffe.
Eine erhöhte Rückgewinnung könnte zu erhöhten NO_x-Emissionen aus dem Rückgewinnungskessel führen.

Betriebserfahrungen: Die Festigkeitseigenschaften von sauerstoffgebleichtem Zellstoff und herkömmlich gebleichtem Zellstoff sind sehr ähnlich, obwohl der sauerstoffgebleichte Zellstoff niedrigere mittlere Viskositäten aufweist. Bei einer gegebenen Reißlänge werden beim spezifischen Berstwiderstand und spezifischen Weiterreißwiderstand keine wesentlichen Unterschiede festgestellt.

Nach der Erfahrung einiger Fabriken führt eine Sauerstoffstufe vor der Bleichabfolge für Nadelholz zu mehr Schmutzpunkten und Faserstippen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Produktion von 1500 t/d gebleichtem Zellstoff betragen die Investitionskosten für ein System zur Delignifizierung mit Sauerstoff üblicherweise 35 – 40 Mio. EUR. Die Betriebskosten betragen 2,5 – 3,0 Mio. EUR/a. Allerdings führt die Delignifizierung mit Sauerstoff zu einem verringerten Chemikalienverbrauch beim Bleichen. Es ergibt sich ein Spareffekt, der von der Holzart abhängt. Bei bestehenden Fabriken wurde von zusätzlichen Feststofffrachten zum Laugen-Rückgewinnungskessel von bis zu 10 % berichtet, mehr verallgemeinert sind es zusätzlich mindestens 4 - 6 %. Damit würde eine 4 - 6 % höhere Kapazität in der Kaustifizierung und im Kalkofen benötigt. Sollte diese Kapazität nicht einfach verfügbar sein, führt dies zu einem entsprechenden Verlust an Produktionskapazität in der gesamten Fabrik.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der Abwasseremissionen (Abwasserbehandlungsanlage und betroffenes Gewässer) ist der Hauptgrund für die Einführung dieser Maßnahme.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa und Amerika.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [Bowen, 1990]

2.3.5 Bleichen mit Ozon

Beschreibung der Technik: Das Bleichen mit Ozon ist mit der Herstellung von ECF- und TCF-Zellstoffen verbunden. Der Hauptzweck für den Einsatz von Ozon dient einer höheren Delignifizierungswirkung. Ozon aktiviert die Fasern in Richtung Peroxid, was zu höherem Weißgrad und niedrigerem Peroxidverbrauch führt.

Ozon (O_3) wird durch stille elektrische Entladung in einem Sauerstoffstrom erzeugt. Wegen der hohen Kosten für die Ozongeneratoren und den Zusatzeinrichtungen für die Ozonerzeugung weist die Ozonbleiche sehr hohe Investitionskosten auf. Da die Ozonkonzentration im Sauerstoffstrom nur ca. 14 - 16 % beträgt, sind große Sauerstoffmengen erforderlich. Deshalb sind die Betriebskosten wegen der relativ hohen Kosten für die Sauerstoffversorgung (die für die Ozonerzeugung benötigt wird) sowie wegen des hohen Energieverbrauchs ziemlich hoch. Ein moderner, mit Sauerstoff betriebener Ozonerzeuger weist einen spezifischen Stromverbrauch von 10 - 15 kWh/kg Ozon auf.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Sie kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Bei der ECF-Bleiche verringert der Einsatz von Chlordioxid weiter die Ableitung von AOX ("ECF light"). Bei der TCF-Bleiche stellt das Bleichen mit Ozon eine übliche Bleichstufe dar. In Fabriken mit TCF-Bleiche macht der Einsatz von Ozon und anderen chlorfreien

Bleichchemikalien die Schließung der Filtratströme von den Waschstufen einfacher (siehe 2.3.8). Eine PO-Stufe unter Druck am Ende der Bleichsequenz ist eine anderer Möglichkeit, den Einsatz von Chlordioxid zu reduzieren. In TCF-Zellstofffabriken kommt eine PO-Stufe relativ häufig vor.

Verlagerungseffekte: Es bestehen keine bedeutenden Verlagerungseffekte.

Betriebserfahrungen: Der Einsatz von Ozon in einer ECF-Bleichanlage hat normalerweise auf die Qualität des für die Papierherstellung eingesetzten Zellstoffs keinen Einfluss.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für ein Bleichsystem mit Ozon für 1500 t/d Zellstoff betragen die Investitionskosten 12 - 15 Mio. EUR. Die entsprechenden Betriebskosten liegen bei 1,8 – 2,1 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der AOX-Emissionen mit dem Abwasser ist der Hauptgrund für den Einsatz dieser Technik.

Referenzanlagen: Seit 1992 sind 16 Anlagen errichtet worden, von denen 13 Anlagen in Sulfatzellstofffabriken betrieben werden.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [Fuhrmann, 1998]

2.3.6 Technik des elementarchlorfreien Bleichens (ECF-Bleiche)

Beschreibung der Technik: Die ECF-Bleiche (elementarchlorfreies Bleichen) besteht aus einer Bleichabfolge ohne Einsatz von Elementarchlor (Chlorgas, Cl_2). In ECF-Bleichen stellt Chlordioxid normalerweise das wichtigste Bleichagens dar. Die Ligninentfernung durch das Bleichen wird in mehreren Stufen durchgeführt. In den ersten beiden Stufen wird vor allem Lignin herausgelöst und extrahiert und die nachfolgenden Stufen dienen zur Entfernung der Ligninreste und zur abschließenden Behandlung des Produkts. Eine Bleichanlage besteht aus einer Abfolge von voneinander getrennten Stufen, denen unterschiedliche Chemikalien oder Chemikalienmischungen zugegeben werden.

In der ersten Bleichstufe kann Elementarchlor durch Chlordioxid ersetzt werden, weil das Chlordioxid je Chloratom im Vergleich zum Chlor eine fünffache Oxidationskraft hat und praktisch die gleichen Eigenschaften zur selektiven Ligninentfernung aufweist. Das Verstärken der alkalischen Extraktionsstufen durch Bleichen mit Sauerstoff und/oder mit Wasserstoffperoxid führt zu einem verbesserten oxidativen Bleicheffekt, wodurch der Restligningehalt des Zellstoffes vor dem abschließenden Bleichen mit Chlordioxid reduziert wird.

Durch den erhöhten Einsatz von Chlordioxid wird die Bildung von chlororganischen Verbindungen reduziert und die Bildung von PCDD/F ausgeschlossen. Von diesen Stoffen sind schädliche Umwelteinwirkungen in den betroffenen Gewässern zu erwarten.

Die verstärkte Substitution von Chlor durch Chlordioxid erfordert grundsätzliche Änderungen des Bleichprozesses und auch die Erweiterung der zugehörigen Chlordioxidanlage vor Ort.

Verschiedene technische Lösungen sind untersucht worden und einige von ihnen haben sich für den großtechnischen Einsatz als geeigneter erwiesen. Die ECF-Bleiche ist für Nadelholz und Laubholz unterschiedlich und in bestehenden Fabriken hängt das mögliche ECF-Konzept mit dem vorhandenen Bleichprozess zusammen. Grundsätzlich erfordert das Erreichen eines bestimmten Weißgrades bei Laubholz weniger Chemikalien als bei Nadelholz, was normalerweise weniger Bleichstufen bedeutet. Tabelle 2.34 führt eine Anzahl an Optionen aus der Vielzahl möglicher Varianten auf. Beispiele für „leichte“ ECF-Bleichabfolgen sind (DZ)(EOP)D, (DQ)(PO), D(EOP)D(PO), die in Abhängigkeit vom angestrebten Weißgrad sowohl für Laubholz als auch für Nadelholz eingesetzt werden können.

ECF / Nadelhol	ECF / Laubholz
D(EP)D	D(EOP)D(EP)D
DPDP	D(EO)D(EP)D
D(EOP)DD	D(EOP)DD
D(EO)DD	D(EO)DD
D(EO)D(EP)D	QDPZP
DQ(PO)	
D(EOP)DED	
D(EO)D(OP)	
D(EOP)D(OP)	
(OP)DQ(PO)	

Legende:
D = Chlordioxid-Bleichstufe unter Einsatz einer wässrigen Chlordioxidlösung (ClO_2); E = alkalische Extraktionsstufe unter Einsatz von NaOH; EO = alkalische Extraktionsstufe unter Einsatz von NaOH mit anschließender Zugabe von gasförmigem Sauerstoff als Verstärkungsmittel; EP = alkalische Extraktionsstufe unter Einsatz von NaOH mit anschließender Zugabe einer H_2O_2-Lösung als Verstärkungsmittel; P = alkalische Stufe unter Einsatz einer wässrigen H_2O_2-Lösung; EOP = alkalische Extraktions- und Bleichstufe unter Einsatz von NaOH mit anschließender Zugabe von Sauerstoff und einer wässrigen H_2O_2-Lösung als Verstärkungsmittel; Q = Säurestufe, für die die Komplexbildner EDTA oder DTPA für die Entfernung von Metallen eingesetzt wurden; Z = Ozonbleiche unter Einsatz von gasförmigem O_3; PO = Peroxidbleiche unter Druck

Tabelle 2.34: Prozesssequenzen für die ECF-Bleiche bei Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nadelholz und Laubholz

Chlordioxid weist unter den technischen Bleichchemikalien die höchste Selektiviät auf. Wird in der ersten Bleichstufe ausschließlich mit Chlordioxid gebleicht, bedeutet dies, dass der Gesamteinsatz an wirksamem Chlor erhöht werden muss und Sauerstoff und Wasserstoffperoxid im Vergleich zu einer herkömmlichen C- oder C/D-Stufe verstärkt einzusetzen sind.

Beispiel für die Charakteristik einer Chlordioxid-Stufe (D):
Zellstoffkonsistenz: 10 %; Reaktionszeit: 30 min; Temperatur: 60°C; pH-Wert am Ende: 3,5

Beispiel für die Charakteristik der mit Sauerstoff und Peroxid verstärkten Alkaliextraktionsstufe (EOP):
Zellstoffkonsistenz: 12 %; Reaktionszeit: 60 min; Temperatur: 60 - 70°C; eingesetzte Alkalimenge: 10 - 20 kg/t Zellstoff; eingesetzte Sauerstoffmenge: 3 - 6 kg/t Zellstoff; Dosierung von Wasserstoffperoxid: 2 - 4 kg/t Zellstoff

Peroxid kann an mehreren Stellen auf verschiedene Weise angewandt werden:

- Verstärkung einer ersten milden Sauerstoffstufe (niedrige oder mittlere Dosierung)
- Verstärkung der Alkaliextraktionsstufen (niedrige Dosierung)
- Abschließende Weißgradeinstellung in Dickstofftürmen (niedrige Dosierung)
- Getrennte Delignifizierungs-/Bleichstufe (hohe Dosierung)
- Getrennte Delignifizierungs-/Bleichstufe unter Druck (hohe Dosierung, PO). Die positive Auswirkung einer abschließenden PO-Stufe in der Bleichanlage besteht darin, dass ECF-Zellstoff auch in einer bestehenden Fabrik herstellen zu können, ohne in zusätzliche Chlordioxid-Kapazitäten investieren zu müssen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden. Die Umstellung einer bestehenden Fabrik auf eine ECF-Fabrik hat sich als möglich erwiesen, erfordert aber oft beträchtliche Änderungen in der Faserlinie sowie die Herstellung von Chlordioxid. Die Anlage zur Herstellung von Chlordioxid muss aufgerüstet werden, um den gestiegenen Bedarf dieser Bleichchemikalie zu decken. Bestehende Bleichanlagen müssen mit verschiedenen Chemikalien-Mischsystemen etc. nachgerüstet werden. Die Kosten für Bleichchemikalien steigen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Mit dieser Technik werden 2,3,7,8-TCDD und 2,3,7,8-TCDF auf ein unter der Nachweisgrenze liegendes Niveau reduziert. Allerdings ist die vollständige Elimination von Dioxinen in den Abwässern aus der ECF-Bleiche eine Frage der Kappa-Zahl und der Reinheit des

Chlordioxids. Mit hoher Kappa-Zahl und verunreinigtem Chlordioxid (z.B. hohe Konzentration an Cl_2) steigt die Wahrscheinlichkeit der Dioxinbildung. Mit dieser Technik werden die von der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) für die Reglementierung vorgeschlagenen prioritären Chlorphenole auf ein Niveau unterhalb der Nachweisgrenze gebracht. Mit ihr wird auch die Chloroformbildung reduziert. Die Bildung von chlorierten organischen Verbindungen, bestimmt als AOX, wird vor der externen Abwasserbehandlung auf ein Niveau von 0,2 – 1,0 kg/t Zellstoff reduziert. Üblicherweise können spezifische AOX-Emissionsfaktoren < 0,3 kg AOX/t Zellstoff durch Einsatz der ECF-Bleiche leicht erreicht werden.

Verlagerungseffekte: Die Einführung der ECF-Bleiche verlangte von der Zellstoff- und Papierindustrie den erhöhten Einsatz von alternativen Bleichchemikalien (Chlordioxid, Sauerstoff, Wasserstoffperoxid), deren Herstellung beträchtliche Energiemengen erfordert.

Betriebserfahrungen: Die Herstellung von ECF-Zellstoff wurde getestet und wird in großtechnischen Zellstoffwerken seit mehreren Jahren praktiziert.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Produktionskapazität von 1500 t/d Zellstoff betragen für neue Fabriken die Investitionskosten für ein ECF-Bleichsystem 8 - 10 Mio. EUR und für bestehende Fabriken 3 - 5 Mio. EUR. Die Betriebskosten betragen 10 - 12 Mio. EUR/a. Diese Kosten basieren auf der Annahme, dass die bestehende Bleichanlage mitverwendet werden kann und die Investitionskosten dann die notwendige Erhöhung der Chlordioxidherstellung beinhalten. Die Betriebskosten beinhalten so auch die zusätzlichen Kosten für den Chlordioxideinsatz anstelle von Elementarchlor.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der AOX-Emissionen mit dem Abwasser (Abwasserbehandlungsanlage und betroffenes Gewässer) ist der Hauptgrund für die Einführung dieser Technik.

Referenzanlagen: Mehrere Anlagen in Europa, Nord- und Südamerika und Südafrika.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [ECF, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.7 Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche)

Beschreibung der Technik: Die Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche) entspricht einem Bleichprozess, der ohne jegliche chlorhaltige Chemikalien durchgeführt wird. Die TCF-Bleiche hat sich schnell entwickelt, auch wenn ihre Anwendung üblicherweise mehrere Änderungen im Zellstoffherstellungsprozess erfordert. In der TCF-Bleiche werden als Bleichchemikalien üblicherweise Wasserstoffperoxid zusammen mit Ozon (Z) oder Peressigsäure (PA) eingesetzt. Unter der Voraussetzung, dass der Zellstoff nach verlängertem Kochen und Delignifizierung mit Sauerstoff eine erforderlich niedrige Kappa-Zahl aufweist und dass die Übergangsmetalle (z.B. Mn^{2+}) in den erforderlichen Komplexierungsstufen (Q-Stufen) entfernt wurden, ist es möglich, den für den Markt erforderlichen Weißgrad mit Peroxid als alleiniger Bleichchemikalie zu erreichen. Allerdings ist die Dosier-Wirkungskurve für den Weißgrad in Abhängigkeit vom Peroxidverbrauch bei hohen Weißgraden ziemlich flach. Dies bedeutet, dass sogar kleine Abweichungen der Kappa-Zahl zu Beginn des Prozesses recht hohe Bleichkosten und eine Erniedrigung der Zellstoffqualität wegen des niedrigen Weißgrades verursachen können.

Eine Möglichkeit zur Reduzierung des Wasserstoffverbrauchs besteht in der Einführung einer Ozonstufe als Teil der Bleichabfolge und zwar vor der Peroxidstufe (ZQP). Ozon ist sehr wirksam zur Reduzierung der Peroxidmenge, die zur Erreichung sogar sehr hoher Weißgrade benötigt wird. Ein Nachteil des Ozoneinsatzes besteht darin, dass bei höheren Dosierungen die Celluloseketten angegriffen werden können.

Persäuren sind mittlerweile in Form von z.B. der Peressigsäure (PA) am Markt verfügbar. Diese Bleichchemikalie ist eine wertvolle Ergänzung in einer der Peroxidstufe vorgelagerten Stufe, wo es anstelle von Ozon eingesetzt werden kann. Der volle Weißgrad kann sogar dann erreicht werden, wenn der ungebleichte

Zellstoff eine etwas höhere Kappa-Zahl im Vergleich zur niedrigsten aufweist. Der Nachteil von Peressigsäure liegt in den ziemlich hohen Kosten.

Beispiele für verschiedene Abfolgen der TCF-Bleiche sind in Tabelle 2.35 aufgeführt.

TCF / Nadelholz	TCF / Laubholz
Q(EP)(EP)(EP)	QPZP
Q(OP)(ZQ)(PO)	Q(OP)(ZQ)(PO)
Q(EOP)Q(PO)	Q(EOP)Q(PO)
Q(OP)ZQ(PO)	Q(OP)ZQ(PO)
Legende: Q = Säurestufe, für die die Komplexbildner EDTA oder DTPA für die Entfernung von Metallen eingesetzt wurden; EP = Extraktionsstufe unter Einsatz von NaOH mit anschließender Zugabe einer wässrigen H_2O_2-Lösung als Verstärkungsmittel; EOP = alkalische Extraktions- und Bleichstufe unter Einsatz von NaOH mit anschließender Zugabe von Sauerstoff und einer wässrigen H_2O_2-Lösung als Verstärkungsmittel; EO = Extraktionsstufe unter Zugabe von NaOH mit anschließender Zugabe von gasförmigem Sauerstoff als Verstärkungsmittel; P = Alkalische Stufe unter Zusatz einer wässrigen H_2O_2-Lösung; Z = Ozon-Bleichstufe unter Einsatz von gasförmigem O_3; PO = Peroxidbleiche unter Druck	

Tabelle 2.35: Prozesssequenzen für die TCF-Bleiche bei Herstellung von Sulfatzellstoff aus Nadelholz und Laubholz

Beispiel für die Charakteristik der Q-Stufe:
EDTA: 1 - 2 kg/t Zellstoff; pH-Wert: 5,7 – 6,2; Zellstoffkonsistenz: 10 %; Reaktionszeit: 60 min; Temperatur: 90 °C

Beispiel für die Charakteristik der E-Stufe (alkalische Extraktionsstufe), die mit Sauerstoff und Peroxid verstärkt wird (EOP):
NaOH: 10 - 20 kg/t Zellstoff; Sauerstoff: 3 - 6 kg/t Zellstoff; H_2O_2: 2 - 4 kg/t Zellstoff; pH-Wert: 11; Reaktionszeit: 60 min; Temperatur: 60 – 70 °C;

Beispiel für die Charakteristik der P-Stufe:
H_2O_2: 20 - 40 kg/t Zellstoff; pH-Wert: 11 – 11,5; Verweildauer: 4 h; Temperatur: 90 °C

Die erste TCF-Bleichabfolge basierte auf dem Einsatz von Peroxid unter alkalischen Bedingungen und ein hoher Einsatz von Wasserstoffperoxid ist immer noch das Hauptmerkmal aller TCF-Bleichabfolgen.

Der Zerfall von Peroxid wird durch bestimmte Metallionen katalysiert, die in einer Säurestufe vor der Peroxidstufe entfernt werden müssen.

Peroxid kann an verschiedenen Stellen auf verschiedene Weise angewandt werden:

- Verstärkung einer milden, ersten Sauerstoffstufe (niedrige oder mittlere Zugabemenge): OP
- Verstärkung von alkalischen Extraktionsstufen (niedrige Zugabemenge): EP
- Abschließende Einstellung des Weißgrades in Dickstofftürmen (niedrige Zugabemenge): P
- Getrennte Delignifizierungs-/Bleichstufe (hohe Zugabemenge): P
- Getrennte Delignifizierungs-/Bleichstufe unter Druck (hohe Zugabemenge): PO

Die Vorbehandlung des Zellstoffs mit einem geeigneten elektrophilen Mittel vor dem Bleichen mit Peroxid kann die Fasern “aktivieren” und ihre Reaktion auf Peroxid verbessern. Ozon kann diese Art von Effekt fördern.

Ozon ist zur wichtigsten Ergänzung des Bleichens mit Wasserstoffperoxid bei TCF-Bleichabfolgen geworden. Der Haupteinsatzzweck von Ozon liegt darin, die Delignifizierungskraft zu erhöhen. Ozon aktiviert die Fasern für Wasserstoffperoxid, was einen höheren Weißgrad und einen etwas niedrigeren Wasserstoffperoxidverbrauch bewirkt. Auf der anderen Seite ist die Selektivität von Ozon niedrig. Zu hohe Dosierung, zu hohe Temperaturen oder andere ungeeignete Bedingungen können zu schwerwiegendem Abbau der Cellulose führen. Ozon sollte vorzugsweise unter sauren Bedingungen (pH-Wert ≈ 2 - 3) angewandt werden. Eine zu hohe Temperatur (> 70 °C) verschlechtert die Selektivität. Hoher Druck erhöht während des Bleichvorganges die Löslichkeit des Ozons

in der wässrigen Phase (es wird davon ausgegangen, dass sich gelöstes Ozon gegenüber Kohlenhydraten weniger aggressiv verhält als Ozon in der Gasphase). Die Zellstoffkonsistenz ist beim Bleichen mit Ozon ein wichtiger Parameter. Anlagen zum Bleichen mit Ozon werden bei mittleren Konsistenzen (8 - 15 %) oder hohen Konsistenzen (> 30 %) betrieben.

Bei Einsatz von Ozon muss dieses wegen des schnellen Zerfalls bei Transport und Lagerung in einer neuen Anlage vor Ort erzeugt werden. Die Betriebskosten zur Herstellung von TCF-Zellstoff sind gewöhnlich etwas höher als die für die Herstellung von ECF-Zellstoff.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden.

In bestehenden Fabriken, in denen eine Komplexbildnerstufe zum Einsatz kommt, sind zur Umstellung der ECF-Bleichabfolge auf eine TCF-Bleichabfolge normalerweise eine neue Sauerstoffstufe und ein Wäscher erforderlich. Werden Wasserstoffperoxid- oder Ozonstufen eingesetzt, sind zwei neue Bleichtürme und der Umbau der Bleichfilter erforderlich. Das Bleichen mit Ozon benötigt Ozonerzeuger und einen Ozonreaktor. Für Peressigsäure ist ein Bleichturm erforderlich.

In neuen, auf der grünen Wiese errichteten Fabriken sind weniger Veränderungen und Investitionskosten erforderlich, aber die Betriebskosten liegen vermutlich in der gleichen Größenordnung.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: In der TCF-Bleiche findet keine AOX-Bildung statt.

Verlagerungseffekte: Beim Vergleich der verschiedenen Möglichkeiten für die ECF- und TCF-Bleiche bestehen heutzutage keine relevanten Unterschiede hinsichtlich Chemikalien- und Energieverbrauch.

Betriebserfahrungen: Die TCF-Bleiche ist mittlerweile eine gut eingeführte Technik. Viele Fabriken in Europa haben in Abhängigkeit von den Marktanforderungen die Möglichkeit eingerichtet, in separaten Kampagnen TCF-Zellstoff anstelle von ECF-Zellstoff herzustellen. Einige wenige Fabriken stellen ausschließlich TCF-Zellstoff her. Allerdings haben leicht erhöhte Produktionskosten und fehlende Verbesserungen in der Produktqualität den Bedarf an TCF-Zellstoffen begrenzt, sodass ihr Anteil in den vergangenen Jahren nicht gestiegen ist.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer neuen Fabrik mit einer Produktion von 1500 t/d Zellstoff betragen die Investitionskosten für das Bleichen mit Sauerstoff 7 - 8 Mio. EUR und bei einer bestehenden Zellstofffabrik in Abhängigkeit von den Werkstoffen der bestehenden Bleicheinrichtungen 2 - 5 Mio. EUR. Soweit die Werkstoffe den Einsatz von Wasserstoffperoxid aushalten, betragen die Kosten 2 - 3 Mio. EUR. Die Betriebskosten für das Bleichen mit Wasserstoffperoxid sind wegen der höheren Chemikalienkosten im Vergleich zur ECF-Bleiche mit 18 - 21 Mio. EUR/a beträchtlich höher.

Wenn sowohl das Bleichen mit Ozon als auch mit Wasserstoffperoxid eingesetzt wird, liegen die Investitionskosten höher (siehe auch Abschnitt 2.3.5 Bleichen mit Ozon).

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die AOX-Emissionen mit dem Abwasser werden reduziert und in der TCF-Bleiche werden keine chlororganischen Verbindungen gebildet.

Referenzanlagen: Viele Anlagen in Europa und weltweit einige sonstige Anlagen.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [J. Pöyry, 1997a], [ECF, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.8 Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage

Beschreibung der Technik: Vor der Bleichstufe hält sich die Abwasserbelastung in Grenzen. Wenn die Bleichstufe vollständig oder teilweise geschlossen werden könnte, würde dies zu einer beträchtlichen weiteren Reduktion der Abwassereinleitungen hinsichtlich organischer Stoffe, Nährstoffe und Metallen führen.

Die an erster Stelle stehende Voraussetzung für die Kreislaufschließung in einer Bleichanlage, womit hier die Rückführung der Filtrate gemeint ist, ist die Reduktion der in der Bleichanlage durchgesetzten Volumenströme. Dies kann durch Gegenstromführung der Flüssigkeiten von der letzten Bleichstufe entlang der Prozessabfolge über die Wascheinrichtungen der Sauerstoffstufe hin zu den Wäschern für den ungewaschenen Zellstoff, wie beispielhaft in Abbildung 2.11 dargestellt, erreicht werden [Alfthan, 1996].

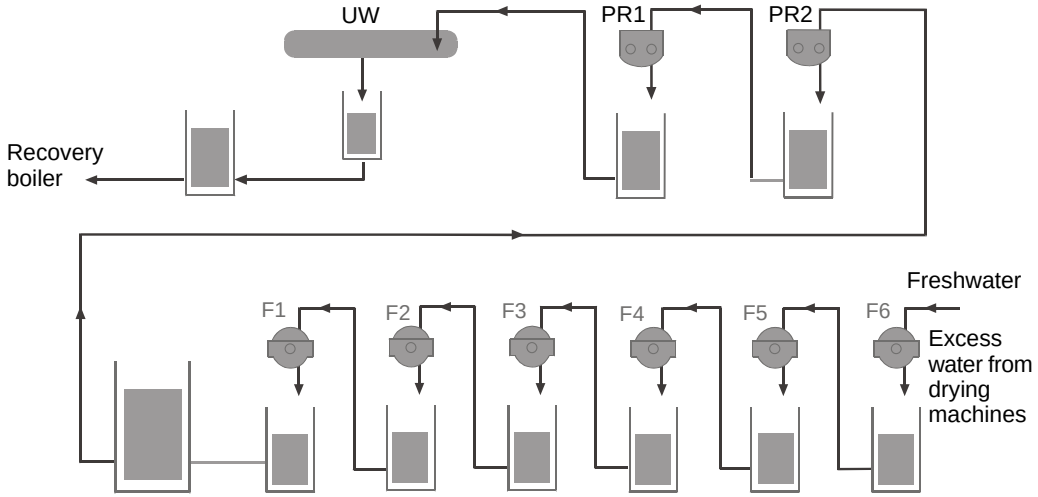


Abbildung 2.11: Prinzipielle Darstellung der möglichen Wasserführungssysteme in Bleichanlagen mit geschlossenem Wasserkreislauf
F1 - F6 = Waschfilter in der Bleichanlage; PR1 + PR2 = Waschpressen in der Delignifizierung mit Sauerstoff; UW = horizontaler Wäscher für die letzte Stufe der Wäsche von ungewaschenem Zellstoff; mit den Tanks wird die für die internen Wasserströme erforderliche Pufferkapazität zur Verfügung gestellt. Das in dieser Abbildung wiedergegebene Wasserkreislaufsystem war nur über einen Zeitraum von wenigen Monaten in Betrieb. Heute ist es teilweise wieder geöffnet.
Excess water from drying machines = Überschusswasser aus den Maschinen für die Trocknung; Freshwater = Frischwasser; Recovery boiler = Laugen-Rückgewinnungskessel

Wie in Abbildung 2.11 angedeutet, erfordert die Steigerung der Kreislaufschließung in einer Bleichanlage zusätzliche Speicherkapazität für die internen Wasserströme und einen Umbau des Wasserverteilungssystems.

Es ist unvermeidbar, dass sich gelöste organische Stoffe und Reaktionsprodukte im in den Peroxidstufen zirkulierenden Filtrat anreichern. Die Anreicherung von gelösten Stoffen bedingt eine beträchtliche Erhöhung des Bleichchemikalienverbrauchs. Es kann sogar schwierig sein, überhaupt den vollen Weißgrad zu erreichen. Eine weitere Schwierigkeit bei der Gegenstromwäsche besteht in der pH-Wert-Einstellung mit Schwefelsäure und Natronlauge, die wegen der beträchtlichen Pufferkapazität des Zellstoffs teuer ist. Das Natrium-Schwefel-Gleichgewicht der Fabrik kann deshalb gestört werden. Die Schlussfolgerung besteht darin, dass Bleichanlagen mit geschlossener Kreislaufführung bis heute keine verfügbare Technik darstellt, aber es ist möglich, die Filtrate in zwei gegenläufigen Strömen zu führen, einem sauren und einem alkalischen. Das alkalische Wasser kann für die Zellstoffwäsche und in anderen Prozessteilen als dem Bleichen eingesetzt werden. Dies führt in der Bleichanlage im Vergleich zu herkömmlichen Systemen zu einer beträchtlichen Reduktion der Volumenströme und der Abwassereinleitungen.

Es muss in Betracht gezogen werden, dass Calcium im Zellstoff enthalten ist und im Zuge aller oxidativen Bleichverfahren eine nennenswerte Menge an Oxalsäure gebildet wird. Sofern ein alkalisches Filtrat für einen aus der Säurestufe kommenden Zellstoff eingesetzt wird oder mit einem sauren Filtrat gemischt wird, das gelöstes Calcium enthält, besteht die Gefahr der Ausfällung von Calciumoxalat. Dieses Problem bedarf noch

einer Lösung. Es ist kaum möglich, den Abwasseranfall in der Bleichanlage unter 5 m^3/t zu bringen, was dem gegenwärtig niedrigsten erreichten Wert entspricht. Deshalb ist für das Finden von "Nieren" (z.B. Ionenaustausch oder Fällung) zum Ausschleusen entweder von Calcium oder Oxalat oder möglicherweise beidem weitere Forschung erforderlich. Diese Nieren sind auch zur Vermeidung der Anreicherung von anderen unerwünschten Komponenten (z.B. so genannte nicht verfahrensbedingte Stoffe) notwendig, die den Bleichprozess, die technischen Einrichtungen oder das Produkt beeinträchtigen.

Schließlich können auch erhöhte Chloridgehalte durch die Rückführung von Abwasser aus der Bleichanlage in einem geschlossenen System zu Korrosionserscheinungen führen. Deshalb versuchen vorzugsweise TCF- oder ECF-Fabriken durch Einsatz maßvoller Chlordioxidmengen das Ausmaß der Kreislaufschließung in der Bleichanlage zu erhöhen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Im Allgemeinen kann die Reduktion des Frischwasserverbrauchs in der Bleichanlage sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken eingesetzt werden. Für bestehende Fabriken sind aber die Investitionskosten für die Rückwasserspeicherung, das Rohrleitungssystem und die Einführung eines Steuerungssystems für das Wassermanagement im Verhältnis zu neuen Fabriken höher. In neueren Fabriken fällt wegen der effizienteren Anlagen bereits weniger Wasser an. Eine Voraussetzung für diese Maßnahmen besteht in der Verfügbarkeit ausreichender Kapazität der Eindampfer und des Laugen-Rückgewinnungskessels. Es ist anzumerken, dass der Einsatz der Eindampfung von Bleichabwässern im Falle der TCF-Bleiche einfacher ist. Nach dem heutigen Wissensstand besteht bei der ECF-Bleiche im Laugen-Rückgewinnungskessel ein erhöhtes Risiko der Chloridkorrosion.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Diese Maßnahmen zur Vermeidung von Umweltverschmutzung führen zu einer Reduktion der CSB-Frachten und der Abwassermengen. Typische Angaben für die Abwassermengen aus Bleichanlagen liegen bei 20 - 40 m^3 Wasser/t Zellstoff. In einer modernen Filterbleichanlage sollten 20 - 25 m^3/t Zellstoff ausreichen. Es ist berichtet worden, dass durch die Teilkreislaufschließung einer Bleicherei der Abwasseranfall bis auf 10 m^3/t Zellstoff und die damit einhergehende abgeleitete spezifische CSB-Fracht auf ca. 6 kg/t Zellstoff reduziert werden kann. Für eine Fabrik wird eine Reduzierung der Abwassermenge aus der Bleichanlage auf nur 5 m^3/t mit einem Rückgang der spezifischen CSB-Fracht von 30 kg CSB/t auf 14 kg CSB/t einschließlich der gleichzeitigen Reduzierung der Abwassertoxizität angegeben.

Verlagerungseffekte: Die P- und D-Bleichstufen als auch die alkalische Extraktionsstufe profitieren von den höheren Temperaturen im Wasserkreislaufsystem. Die gelösten organischen Stoffe aus den Bleichereiabwässern werden über die Eindampfanlage dem Laugen-Rückgewinnungskessel zugeführt. Dies benötigt zusätzliche Kapazität und Energieverbrauch in der Eindampfanlage. Auf der anderen Seite kann Energie und Platz für die externe Abwasserbehandlung gespart und der Anfall an Überschussschlamm geringer werden.

Betriebserfahrungen: Versuche zur Schließung des Wasserkreislaufsystems einer Produktionsstraße zur Herstellung von Zellstoff aus Birkenholz in einer schwedischen Sulfatzellstofffabrik wurden bereits 1993 durchgeführt. Die Anlagen zur großtechnischen Produktion ohne Anfall von Bleichereiabwasser waren für einige Monate in Betrieb. In Folge der Probleme mit Belagbildung und Verstopfung (Ausfällungen von Calciumoxalat) wurde das Wasserkreislaufsystem in der ersten Stufe teilweise wieder geöffnet, um das Filtrat mit der höchsten Calciumkonzentration auszuschleusen. Nach der Optimierung der Prozessbedingungen läuft die Bleichanlage der Fabrik mit einem teilweise geschlossenen Wasserkreislaufsystem. Ein paar weitere Fabriken in Europa und Nordamerika haben den Wasserkreislauf in der Bleichanlage teilweise geschlossen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es müssen beträchtliche Investitionen getätigt werden: Es ist ein völliger Umbau des Wasserverteilungssystems in der Bleichanlage einschließlich zusätzlicher Speicherbehälter für interne Wässer notwendig. Eine Strategie zur Steuerung des Wassermanagements in der Anlage muss entwickelt und eingeführt werden. Verlässliche Angaben zu den Kosten waren nicht verfügbar.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die treibende Kraft war die Reduktion der BSB- und CSB-Einleitungen mit dem Abwasser. Zellstofffabriken ohne biologische Abwasserbehandlung waren die Pioniere zur Reduzierung der Abwässer aus der Bleichanlage durch prozessinterne Maßnahmen.

Referenzanlagen: Einige Fabriken in Schweden, Finnland und Nordamerika.

Literatur:
[Annergren, 1996], [Alfthan, 1996], [Höök, 1997]

2.3.9 Sammlung nahezu aller Leckagewässer

Beschreibung der Technik: In Zellstofffabriken besteht die Notwendigkeit durch innerbetriebliche Maßnahmen die Ableitung von Prozessabwässern weitgehend zu minimieren. Die externe Abwasserbehandlungsanlage, besonders wenn sie eine biologische Behandlung beinhaltet, kann aufgrund von Havarien aus dem Aufschlussprozess stark gestört werden.

An den Dichtungen der Wäscher für ungewaschenen Zellstoff treten Verluste an Kochflüssigkeit auf sowie an Pumpen und Ventilen des Laugenversorgungssystems, an Knotenfängern und Sieben, durch Ableitung von Flüssigkeiten vom Auskochen der Verdampfer und anderen unbeabsichtigten Laugenverlusten im Zuge von Wartungsarbeiten und Anfahr- und Abfahrvorgängen. Lauge geht auch durch Leckagen aus Prozessstörungen, Überläufen, Brüchen von Anlagenteilen, Betriebsfehlern und Bautätigkeiten verloren.

Die Konzipierung von Zellstofffabriken sollte den nachfolgenden Aspekten folgen:

- Erfassung der Laugen aus nicht bestimmungsgemäßer Ableitung und Leckagen bei der höchst möglichen Feststoffkonzentration.
- Rückführung der erfassten Lauge an geeignete Stellen im Prozess.
- Abschirmung von bestimmten kritischen Prozessbereichen (einschließlich Tallöl und Terpentin) zur Vermeidung von konzentrierten oder schädlichen Strömen, die zur externen Abwasserbehandlung gelangen oder sauberes Wasser kontaminieren können.
- Durchführung von Leitfähigkeits- oder pH-Wert-Messungen an strategisch wichtigen Stellen, um Verluste und Leckagen feststellen zu können (Leckageüberwachungssystem, das die Vermeidung und Überwachung von möglichen Leckagen ermöglicht).

Von den Prozesslaugen hat sowohl die aus der Wäsche von ungebleichtem Zellstoff kommende Schwachlauge sowie die aus der Eindampfanlage stammender Starklauge besondere Bedeutung für die Erfassung von Leckagen. Diese Laugen verursachen eine unnötige Belastung und Betriebsstörungen in der externen Abwasserbehandlungsanlage.

Das grundlegende Konzept für eine wirksame Rückgewinnung erfordert auch, das Abwassersystem so anzulegen, dass die meisten Leckagen, verunreinigten Wässer aus Dichtungen oder von der Bodenwäsche aus relevanten Bereichen – Aufschluss, Wäsche und Sortierung, Laugenspeicherung und –eindampfung, Aufbereitung der Kochlösung – in Sümpfen aufgefangen und entweder direkt oder über einen Zwischentank in den entsprechenden Laugenspeichertank gepumpt werden. Die Notwendigkeit eines solchen Rückgewinnungssystems muss üblicherweise aus wirtschaftlichen Gründen auf Bereiche begrenzt werden, bei denen die Feststoffkonzentration der gemischten Leckagewässer mindestens 2 - 3 % beträgt. Die in diesen Bereichen anfallenden Wässer aus der Bodenwäsche und von Dichtungen verdünnen die rückgewinnbaren Ströme, sodass dafür Sorge getragen werden muss, die Verdünnung der Prozesslaugen in Grenzen zu halten.

Die heißen Kondensate vom Aufschluss und von der Laugeneindampfung müssen vor ihrer Wiederverwendung in der Zellstoffproduktion auch gespeichert werden. Diese Kondensate werden entsprechend ihrer Belastung in saubere, mäßig belastete und höher belastete Kondensate eingeteilt. Besonders die letztgenannten werden seltener wiederverwendet und werden trotz ausreichendem Speichervolumen abgeleitet, was zur organischen Belastung des Abwassers beiträgt und die Temperatur des Gesamtabwassers erhöht. Die mäßig und höher belasteten Kondensatverluste können einfach durch Ersatz von Frischwasser reduziert werden. Auch aus Umweltgründen besteht eine Möglichkeit darin, sie dem Dampfstripper zur Entfernung reduzierter Schwefelverbindungen und flüchtiger organischer Verbindungen zuzuführen; sie können dann als ziemlich sauberes Heißwasser für eine Vielzahl von Prozessen eingesetzt werden.

In den innerbetrieblichen Produktionsbereichen wie der Tallölanlage und der Rückgewinnung von Terpentin muss dafür Sorge getragen werden, zur externen Behandlungsanlage abgeleitete Leckagen zu vermeiden. Seife und Terpentin enthalten Stoffe, die toxische Effekte bei der biologischen Behandlung verursachen können.

Eine Zellstofffabrik mit einer einzigen Produktionsstraße müsste mit fünf Pumpensümpfen mit leitfähigkeitsgesteuerten Rückgewinnungspumpen ausgerüstet sein. Wenig komplex aufgebaute Fabriken würden neun und komplex aufgebaute Fabriken bis zu zwölf Pumpensümpfe benötigen.
Neben den vorgenannten technischen Aspekten kann die Ausbildung des Personals ein sehr effizienter Ansatz zur Reduktion der Ableitungen von gefährlichen Stoffen darstellen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Sie ist sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken anwendbar. Allerdings ist ein wirksames System zur Leckagenüberwachung bei der Konzeption und Errichtung neuer Anlagen einfacher zu installieren als es in alten Fabriken nachzurüsten.
In bestehenden Fabriken kann das Problem der wirksamen Speicherung der Prozessströme am besten innerhalb der zentralen Bestandteile der Produktionsanlage gelöst werden. Deshalb sollte die Errichtung von Leckagenbehältern zusammen mit anderen kostenwirksamen Verbesserungen, besonders der Zellstoffwäsche und –sortierung, Eindampfung und Laugenfiltration, bewerkstelligt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Diese zentrale Maßnahme zur Reduzierung der Umweltverschmutzung hängt mit der unter 2.3.12 beschriebenen BVT "Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen" zusammen. Die erreichbare Verbesserung des Umweltschutzes erfordert eine Kombination beider BVT.

Eine umfassende Analyse ergab, dass im Vergleich zu Fabriken ohne oder mit ineffizienter Leckagenrückgewinnung und niedriger Prozessstabilität Fabriken mit gutem Prozess-management, sorgfältig bemessenen Leckagenbehältern und Leckagenrückgewinnung sowie mit einer freien Kapazität in der Eindampfanlage in Höhe von 5 - 10 % eine Reduktion der CSB-Fracht im Abwasser von 3 - 8 kg CSB/t Zellstoff erreichen können. Die spezifische CSB-Fracht der gesamten Leckagen kann weniger als 2 kg CSB/t Zellstoff betragen.

Zusätzlich wird das Risiko von Betriebsstörungen in der externen Abwasserbehandlungsanlage vermindert, indem Havarien mit hohen organischen und manchmal toxischen Belastungen oder kontinuierlich hohem oder niedrigem pH-Wert im Zulauf vermieden werden.

Verlagerungseffekte: Zur Verarbeitung der erfassten Leckagen würde in der Eindampfanlage eine um 5 - 10 % höhere Kapazität benötigt werden. Dies würde auch zu einer 5 – 10 %igen Erhöhung des Dampf- und Stromverbrauches führen. Allerdings bedeutet die Erfassung von Leckagen die Rückgewinnung von Energie und Chemikalien, soweit sie im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt werden.

Betriebserfahrungen: Prozessintegrierte Behälter für Laugenleckagen und Überläufe sowie die Einführung einer geeigneten Unternehmenspolitik hat sich sowohl aus wirtschaftlicher als auch umweltseitiger Sicht als nützlich erwiesen. Diese Angelegenheit ist in vielen Fabriken mit relativ einfachen Methoden wirksam gelöst worden. Der effizienten Umsetzung dieser Techniken werden durch fabrikspezifische Prozessengpässe, üblicherweise bei der Zellstoffwäsche und –sortierung oder bei der Eindampfung, Grenzen gesetzt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktionsmenge von 1500 t/d Zellstoff betragen die Investitionskosten für das System zur Leckagenerfassung und -rückführung 0,8 – 1,5 Mio. EUR. Soweit die Eindampfanlage um 0,8 m^3/t Zellstoff erweitert werden muss, fallen weitere Kosten in Höhe von 4 - 6 Mio. EUR an. Die Betriebskosten des Systems werden mit 100000 - 400000 Euro/a geschätzt, können aber zwischen bestehenden und neuen Fabriken beträchtlich schwanken. Bei neuen Fabriken besteht im Allgemeinen ein höherer Wärmeüberschuss und die Betriebskosten liegen deshalb am unteren Ende des angegebenen Bereichs.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Grund für die Einführung dieser Technik besteht in der Reduktion der BSB- und CSB-Ableitungen mit dem Abwasser.

Referenzanlagen: Weltweit zahlreiche Fabriken

Literatur:
[Tappi Proceedings, 1996], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.10 Effizientes Waschen und Prozesskontrolle

Beschreibung der Technik: Das Ziel der Wäsche von ungewaschenem Zellstoff besteht in der möglichst vollständigen Abtrennung der Zellstofffasern von den gelösten organischen und anorganischen Stoffen. Dies erfolgt, bevor der Zellstoff den Aufschlussbereich verläßt. Dabei werden die Kochchemikalien und die gelösten organischen Stoffe so weit wie möglich erfasst und zurückgewonnen.

Die Waschstufe besteht aus einer Kombination aus aufeinander folgender Verdünnung und Eindickung oder Verdrängung. In der Praxis kommen bei jeder Kombination von Wascheinrichtungen diese Techniken mit unterschiedlichen Anteilen zum Einsatz. Von der Vielzahl von Einrichtungen für die Zellstoffwäsche sind die gebräuchlichsten Vakuum- oder Drucktrommelfilter, Langsiebwäscher, drucklos oder unter Druck betriebene Diffusionswaschanlagen oder Waschpressen, von denen die Waschpresse, die Drucktrommelwäscher und die unter Druck betriebenen Diffusionswaschanlagen die besten Ergebnisse aufweisen. Eine höhere Zellstoffkonsistenz geht mit einer reduzierten Menge an verunreinigtem Wasser einher, das mit dem Zellstoff verschleppt wird.

Da die Wascheffizienz stets kleiner als 100% ist, gelangt ein bestimmter Anteil an Chemikalien und Schadstoffen mit dem Zellstoff in die Bleichanlage (“carry-over“), was zu einem Verbrauch an Bleichchemikalien und gewöhnlich zu ihrer Ableitung in die Kanalisation führt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann für neue und bestehende Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden.

In der Praxis dürften in bestehenden Fabriken aus praktischen Erwägungen heraus eher Änderungen des vorhandenen Waschsystems als die Einführung vollständig neuer Wascheinrichtungen zum Zuge kommen.

Bei einem geschlossenen Waschsystem ist die Bedeutung der Erfassung von zeitweise auftretenden Leckagen größer. Die ausgeschleuste Waschlauge enthält sowohl organische als auch anorganische Stoffe. Die aus dem Prozess ausgeschleusten Waschwässer werden über die externe Abwasserbehandlungsanlage entsorgt.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Waschverlust in einem herkömmlichen Trommelwaschsystem kann um 5 – 8 kg CSB/t Zellstoff liegen; im Vergleich dazu werden mit einem modernen, aus einer Waschpresse bestehenden Waschsystem 2 - 4 kg CSB/t Zellstoff erreicht. Die im Zellstoff verbleibenden Stoffe werden von den Fasern adsorbiert oder eingeschlossen. Im letztgenannten System erhöht sich die Zellstoffkonsistenz nach der Wäsche von ungefähr 10- 15 % auf 25 - 35 % und der Wassergehalt wird von 6 - 10 m^3/t Zellstoff auf 2 - 3 m^3/t Zellstoff reduziert. Mit in Reihe geschalteten Waschstufen können Rückgewinnungsraten für die Schwarzlauge von bis zu 96 - 98 % erreicht werden.

Durch den Einsatz einer effizienten Wäsche vor der Delignifizierung mit Sauerstoff kann der dafür erforderliche Sauerstoffverbrauch reduziert werden. Mit einem effizienten Waschsystem vor der ersten Bleichstufe geht der carry-over von organischen Stoffen zurück, was verminderte AOX-, BSB_5- and CSB-Ableitungen in die Kanalisation bedingt.

Messungen: Es gibt standardisierte Methoden zur Bestimmung des carry-over, der oft als “Waschverlust” bezeichnet wird. Die Waschverluste wurden ursprünglich über den Natriumsulfatgehalt im Zellstoff bestimmt. Da die Bedeutung der Verluste dieser Prozesschemikalie zurückgegangen ist, wird der Waschverlust heutzutage normalerweise über den CSB bestimmt.

Verlagerungseffekte: Die im Zellstoff verbleibenden anorganischen Stoffe führen zu einem höheren Bedarf an Prozesschemikalien.

Betriebserfahrungen: Ein grundlegendes Konzept gibt es seit mehreren Jahren. Die Waschtechnologie wurde über Jahre entwickelt und die Lösungsansätze sind nun geprüft und im Betrieb bestätigt worden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei neuen Fabriken betragen die Investitionskosten üblicherweise 4 – 6 Mio. EUR und ungefähr 2 – 4 Mio. EUR bei bestehenden Fabriken. Es fallen keine wesentlichen zusätzlichen Betriebskosten an.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der Abwassereinleitungen ist der wichtigste Grund für die Einführung dieser Technik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [Tappi Environmental Conference, 1992],

2.3.11 Strippung der am stärksten belasteten Kondensate und Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess

Beschreibung der Technik: Die Ziele für das Strippen von verunreinigten, konzentrierten Kondensaten bestehen darin, den Frischwasserverbrauch der Fabrik, die Schadstofffracht des Abwassers im Zulauf zur Behandlungsanlage und die TRS-Emissionen zu reduzieren. Das Strippen und die Wiederverwendung der Kondensate können zu einer beträchtlichen Reduzierung der zu behandelnden CSB-Fracht führen.

Die Kondensate können eingeteilt werden in:

- Primäre Kondensate – Frischdampfkondensate, die für eine Wiederverwendung als Kesselspeisewasser (nach wenig aufwändiger Aufbereitung) sauber genug sind
- Sekundäre Kondensate – belastete Dampfkondensate, die durch Schwarzlauge, Zellstoffsuspensionen etc. kontaminiert sind.

Kondensate stammen aus der Kondensation von Prozessdämpfen aus den Kochern und aus der Eindampfanlage. Insgesamt fallen um 8 - 10 m^3/t Zellstoff Kondensate mit einer spezifischen CSB-Fracht um 20 - 30 kg/t und einer spezifischen BSB_5-Fracht um 7 - 10 kg/t Zellstoff an. Üblicherweise ist 1 m^3/t Zellstoff hoch belastet, 4 m^3/t Zellstoff haben eine mittlere und 4 m^3/t Zellstoff eine niedrige Belastung.

Der CSB besteht hauptsächlich aus Methanol (5 - 10 kg/t Zellstoff), etwas Ethanol und einigen organischen Schwefelverbindungen (1 - 2 kg TRS/t Zellstoff), 1 - 2 kg Terpentin und anorganischen Verbindungen. Faulende Kondensate enthalten darüber hinaus Ketone, Terpene, Phenole, Harz- und Fettsäuren sowie verschiedene gelöste Gase. Ein hoher Anteil der von einer Sulfatzellstofffabrik emittierten Stickstofffracht rührt aus den Kondensaten her.

Ungefähr 1 m^3 Kondensat je Tonne Zellstoff weist eine CSB-Konzentration von 10 - 20 kg O_2/m^3 auf. Bei der Herstellung von Zellstoff aus Laubholz ist der Wert höher als bei Nadelholz. Diese hoch belasteten Kondensate werden normalerweise in einem Stripper mit einem vom pH-Wert abhängigen Wirkungsgrad von mehr als 90 % behandelt. In Systemen für die Strippung werden gleichzeitig übelriechende Gase (TRS) und CSB-relevante Stoffe entfernt. Die CSB-Konzentration von gestrippten Kondensaten kann bei 1 – 1,5 kg O_2/m^3 liegen. Die gestrippten Gase werden entweder in einem speziellen Brenner mit nachfolgender SO_2–Wäsche oder im Kalkofen verbrannt. Letztere Möglichkeit kann zu Problemen führen, die aus der nachteiligen Auswirkung auf die Absorptionskapazität für Schwefelverbindungen im Kalkofen bestehen.

Der spezifische Anfall von schwächer belasteten Kondensaten (mit mittlerer und niedriger Belastung) beträgt 7 - 9 m^3/t t Zellstoff, die eine CSB-Konzentration im Bereich 0,5 bis 2 kg O_2/m^3 und insgesamt eine spezifische CSB-Fracht von 8 - 12 kg O_2/t Zellstoff aufweisen.

Alternativ können mäßig belastete Kondensate in einem mit der Eindampfanlage in Verbindung stehenden System gestrippt werden, wodurch eine wirksame Behandlung ohne beträchtlichen zusätzlichen Energieeinsatz erfolgt. Auf diesem Weg wird die CSB-Fracht vor jeglicher Wiederverwendung auf um 5 kg O2/kg reduziert, was im Vergleich zur Behandlung nur der am höchsten belasteten Kondensate einer Reduktion von um 50 % entspricht.

Die Strippkolonne kann Teil einer separaten Anlage oder integrierter Teil der Eindampfanlage sein. Die Kondensate werden dem Kopf der Kolonne zugeführt. Dampf oder verdampfte Kondensate strömen vom Kolonnenboden im Gegenstrom zu den angefaulten Kondensaten nach oben. Die am Kolonnenkopf austretenden Dämpfe gelangen in einen Rückflusskühler, wo sie teilweise kondensiert werden. Der Zweck des Rückflusskühlers besteht darin, einen Teil des Wassers der Gasphase zu kondensieren und die Konzentration der flüchtigen Komponenten im austretenden Gas zu erhöhen. Die nicht kondensierbaren Gase aus dem Kondensator enthalten den Löwenanteil der flüchtigen Verbindungen, die in der Strippkolonne ausgestrippt werden. Diese werden der Verbrennung zugeführt, in der die organischen und TRS-Stoffe durch thermische Oxidation zerstört werden.

Gereinigte Kondensate sind schwermetallfrei und sind deshalb teilweise, soweit eine Kreislaufschließung in diesem Teil des Prozesses angestrebt wird, in der Bleichanlage zum Waschen einsetzbar. Sie können auch zum Waschen des ungewaschenen Zellstoffs wiederverwendet werden oder im Kaustizierbereich (Kalkschlammwäsche und –verdünnung, Schlammfilterspritzrohre), als TRS-Waschflüssigkeit für Kalköfen oder als Wasser für die Weißwasserzubereitung. Dies bedeutet, dass einige Kondensate in geschlossenen Prozessteilen verwendet und nicht als Abwasser abgeleitet werden. Andere Kondensate werden in offenen Prozessbereichen, z.B. in der Bleichanlage, verwendet und fallen schließlich zusammen mit solchen Kondensaten, die nicht wiederverwendet und direkt abgeleitet werden, als Abwasser an.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Dampfstrippung ist eine sinnvolle innerbetriebliche Maßnahme zur Reduzierung des CSB und von Gerüchen von angefaulten Kondensaten aus der Herstellung von Sulfatzellstoff. Dieses Verfahren kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden. Die Kondensat-Strippkolonne kann separater Anlagenteil oder integrierter Bestandteil der Eindampfanlage sein. Im ersteren Fall ist der Einsatz von Frischdampf erforderlich, während in letzterem Fall Sekundärdampf aus der Eindampfanlage eingesetzt werden kann. Allerdings ist die thermische Oxidation der gestrippten Dämpfe erforderlich. Zu diesem Zweck können Kalköfen, Kessel zur Energieerzeugung und separate Anlagen zur TRS-Verbrennung dienen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: In einer Fabrik mit geschlossenem Wassersystem in der Sortierabteilung ist die beste Stelle für die Wiederverwendung der Kondensate die Zellstoffwäsche, entweder beim letzten Wäscher oder bei der Rundsiebentwässerungsmaschine. Der typische Waschwasserbedarf liegt bei 10 - 13 m^3/t Zellstoff. Die im Eindampfer- und Kocherbereich anfallende und für die Wiederverwendung zur Verfügung stehende Kondensatmenge kann 6 - 9 m^3/t Zellstoff betragen; diese Menge entspricht dem Wassereinsparpotenzial. Wenn nur die hoch belasteten Kondensate gestrippt werden, würde die CSB-Reduktion bei 4 - 6 kg O_2/t Zellstoff betragen, während beim Strippen auch der mittel und schwach belasteten Kondensate die Reduktion bei 3 - 5 kg O_2/t Zellstoff betragen kann. Allerdings sind die der Abwasserbehandlungsanlage zugeführten Kondensate meist leicht biologisch abbaubar. Die Elimination der TRS-Belastung der Kondensate liegt bei 97 % und der Methanolbelastung bei 92 %.

Verlagerungseffekte: Bei Einsatz der Dampfstrippung müssen die nicht kondensierbaren Gase zur Vermeidung der Emission von konzentrierten TRS-Gasen in die Atmosphäre separat verbrannt werden. Dies wird in den Abschnitten 2.3.18 und 2.3.19 näher dargestellt.

Beim Einsatz der Strippung von hoch belasteten Kondensaten wird die der Abwasserbehandlungsanlage zugeführte Fracht minimiert. Dadurch können auch, soweit Schwierigkeiten bei der Einhaltung der Genehmigung bestehen, weitere Investitionen für die Abwasserbehandlungsanlage vermieden werden. Der Einsatz dieser Technik bedeutet weiterhin, dass weniger Belüftungsenergie und weniger Energie sowie Chemikalien für die Schlammbehandlung benötigt werden. Soweit die Rückgewinnung von sauberen und von gestrippten Kondensaten kombiniert wird, kann der Frischwasserverbrauch um bis zu 6 m^3/t Zellstoff zurückgehen. Da die Kondensate heiß anfallen, kann ein Teil der in der Strippkolonne eingesetzten Energie eingespart werden.

Beim Dampfstrippen werden die TRS-Stoffe aus angefaulten Kondensaten entfernt, wodurch die Emission von flüchtigen TRS-Stoffen aus der Abwasserbehandlungsanlage reduziert werden können.

Unter der Voraussetzung, dass die 8 - 12 kg/t Zellstoff Methanol enthaltende Stripperabluft als Brennstoffersatz verwendet werden kann, besteht die Möglichkeit der Einsparung von Heizöl oder Erdgas.

Das Strippen der Kondensate vermindert das niedrige Emissionsniveau der TRS-Stoffe aus den angefaulten Kondensaten. Die TRS-Stoffe schließen Schwefelwasserstoff, Methylmercaptan, Dimethylsulfid und Dimethyldisulfid ein. Diese Emissionen sind mit verantwortlich für faulige Gerüche von einer Sulfatzellstofffabrik.

Betriebserfahrungen: In modernen Fabriken wird das Strippen belasteter Kondensate seit vielen Jahren praktiziert. Sofern die Strippanlage für hohe Wirkungsgrade zur Entfernung von Methanol konzipiert ist, sind die Kondensate aus der Strippkolonne vergleichsweise sauber und können in der Zellstofffabrik für Verfahrensschritte wie das Waschen von ungewaschenem Zellstoff wiederverwendet werden.

Für die grundlegende Bemessung der Strippanlage und zur Reduktion der Investitionskosten sollte die ihr zugeführte Kondensatmenge durch Trennung der Kondensate reduziert werden. In der Eindampfanlage kann das erste Laugendampfkondensat in zwei Fraktionen aufgeteilt werden. Die Oberflächenkondensatoren können in zwei Stufen oder in zwei Kondensationsschritte unterteilt werden. Die Dämpfe von diskontinuierlichen Kochern können in zwei Stufen kondensiert werden. Für die Strippkolonnen kann Sekundärdampf als hauptsächliche Dampfquelle herangezogen werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für die Strippanlage betragen für eine Fabrik zur Herstellung von 1500 t/d Sulfatzellstoff um 2,0 – 2,5 Mio. EUR. Zusätzliche Investitionskosten können durch die Kapazitätserhöhung der fabrikeigenen Eindampfanlage erforderlich werden; dies hängt aber stark von der Konzeption der bestehenden Eindampfanlage ab. Nachrüstkosten können zwischen 1 - 4 Mio. EUR schwanken.

Die Betriebskosten für die Kondensatstrippung bestehen hauptsächlich aus den Kosten für den zur Strippung benötigten Dampf sowie für die Wartung. Wenn der Stripper getrennt von der Eindampfanlage betrieben wird, liegen die Betriebskosten wegen des höheren Frischdampfverbrauchs deutlich höher. Die Kosten betragen um 0,6 – 0,7 Mio. EUR/a. Sofern der Stripper mit den Eindampfstufen verbunden ist, sind die Betriebskosten niedriger; sie liegen in diesem Fall bei 0,3 – 0,4 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Sulfatzellstofffabriken können mit CSB-Problemen bei der Abwassereinleitung konfrontiert sein. Die Ursachen hierfür können in ungeeigneter Bemessung oder ungeeignetem Betrieb liegen oder durch neue, strengere Grenzwerte oder durch eine Fabrikerweiterung oder durch Prozessumstellungen mit dadurch verbundener Erhöhung der der Abwasserbehandlungsanlage zugeführten CSB-Fracht bedingt sein. Dadurch besteht eine Notwendigkeit der Kondensatwiederverwendung für die Prozesse der Zellstofffabrik. Die Wiederverwendung von angefaulten Kondensaten ohne Behandlung führt zu einer Verschlechterung der Zellstoffqualität.

Referenzanlagen: Zahlreiche Fabriken in Europa.

Literatur:
[Sebbas, 1988], [Zunich, 1993]

2.3.12 Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen

Beschreibung der Technik: In Zellstofffabriken ist es erforderlich, durch sorgfältig durchgeführte innerbetriebliche Maßnahmen die Ableitung von konzentrierten und heißen Prozessteilströmen mit dem Abwasser weitgehend zu minimieren. Zum einen kann die Abwasserbehandlungsanlage, vor allem wenn sie eine biologische Behandlungsstufe beinhaltet, in Folge von unvorhergesehenen Ableitungen massiv

beeinträchtigt werden. Zum anderen haben einige Prozessteilströmen aufgrund ihres Heizwertes oder ihres Gehaltes an Chemikalien eine wichtige wirtschaftliche Bedeutung.

Die hier beschriebene Maßnahme zur Verminderung der Umweltverschmutzung hängt mit der BVT 2.3.9 “Sammlung nahezu aller Leckagewässer” zusammen, auf die hinsichtlich der Leckageüberwachung Bezug genommen wird. Zur Vermeidung einer unnötigen Belastung und von unvorhergesehenen Betriebsstörungen der externen Abwasserbehandlung sollte die Speicherkapazität für Kochflüssigkeiten, rückgewonnene Flüssigkeiten und verschmutzte Kondensaten um mindestens 30 % über den bei Normalbetrieb anfallenden Mengen liegen. Saubere Ströme werden an potenziellen Leckagebereichen vorbeigeführt, um eine Verdünnung der rückgewonnenen Prozessteilströme zu vermeiden.

Diese zur Verfügung stehenden Volumina zum Auffangen der Dünn- und Dicklaugen aus der Herstellung von Sulfit- und Sulfatzellstoff, besonders in den Anfahr- und Abfahrphasen oder bei Betriebsstörungen, sind entscheidend. Die Laugenkonzentration, die als Trockensubstanz (TS) bestimmt wird, bedingt den Grundbedarf für Speichervolumina. Zum Beispiel kann in einer alten Fabrik zur Herstellung von Sulfatzellstoff die schwache Schwarzlauge bei 8 % TS und die Starklauge bei 60 % TS angesiedelt sein, während diese Werte im Gegensatz dazu in einer modernen Fabrik bei 16 % TS bzw. 75 % TS liegen. Dies bedeutet entsprechend, dass in Fabriken mit niedriger Wascheffizienz für den ungebleichten Zellstoff oder mit normaler Eindampfanlage ohne Ablaugeneindampfeinheiten die Speichervolumina beträchtlich größer sein müssen.

Das zusätzlich zum Normalbetrieb benötigte Speichervolumen muss bei Betriebsstörungen die Mengenspitzen für mehrere Stunden aufnehmen können. Weiterhin muss durch das zusätzliche Speichervolumen sichergestellt sein, dass genügend Schwachlauge zwischengespeichert werden kann, um die Eindampfanlage trotz kurzer Abstellvorgänge beim Kochen und Waschen oder trotz Abstellvorgängen für kurze Wartungsmaßnahmen in einem Teil einer mehrstraßigen oder einstraßigen Eindampfanlage normal weiterbetreiben zu können. Das Speichervolumen für Dicklauge muss auch deshalb groß genug sein, um Probleme oder kurzzeitigen Produktionsstillstand des Laugen-Rückgewinnungskessels ohne Erniedrigung des Durchsatzes in der Eindampfanlage zu meistern oder um die Eindampfanlage für kurze Zeit abstellen zu können.

Bestehende Fabriken, die die Einführung der Delignifizierung mit Sauerstoff ins Auge fassen, müssen ihre Kapazität für die Speicherung von Dünn- und Dicklauge sowie für die Eindampfanlage unter die Lupe nehmen, weil dieser Produktionsschritt voraussichtlich die der Eindampfanlage zuzuführende Wassermenge erhöht.

Die Laugen nach dem Rückgewinnungskessel, die nach zusätzlichen Verfahrensschritten zu frischer Kochlauge aufbereitet wurden, sind frei von organischen Stoffen, weisen aber einen sehr hohen pH-Wert auf. Diese Laugenbehälter benötigen gleichfalls Pufferkapazität für kurzzeitige Mengenspitzen oder für Abstellvorgänge von in Verbindung stehenden Anlagenteilen wie den Laugefiltern. Wenn diese Laugen zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitet werden, führt dies zu pH-Stößen, die, soweit der pH-Wert nicht ausreichend geregelt wird, zu Betriebsstörungen führen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Optimierung der benötigten Pufferkapazität für heiße oder konzentrierte Ströme ist sowohl für bestehende als auch für neue Anlagen anwendbar und ist auf viele Arten und Weisen ein Muss. Diese Maßnahmen tragen nicht nur dazu bei, wertvolle Prozesschemikalien im Produktionssystem zu halten und die Wirtschaftlichkeit der Verfahren zu erhöhen, sondern beeinflussen nachhaltig das Umweltschutzniveau der Fabrik. In bestehenden Anlagen ist die Lösung für die effiziente Speicherung von Prozessströmen auch innerhalb der Anlagen für die zentralen Produktionsprozesse begründet. Deshalb sollte der Aufbau von Speicherkapazitäten und Leckagebehältern in Verbindung mit der Untersuchung anderer kostenwirksamer Verbesserungen erfolgen, insbesondere hinsichtlich Wäsche und Sortieren des Zellstoffs sowie Eindampfung und Laugenfiltration.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Diese Maßnahme zur Verminderung der Umweltverschmutzung steht in Zusammenhang mit der in 2.3.9 beschriebenen Technik „Sammlung nahezu aller Leckagewässer“. Der erreichte Umweltnutzen erfordert eine Kombination aus diesen beiden Techniken.

Das Risiko von Betriebsstörungen in der externen Abwasserbehandlungsanlage wird durch Vermeidung von Havarien mit hohen organischen und manchmal giftigen Belastungen oder ständig hohem oder niedrigem pH-Wert in den zulaufenden Abwasserströmen reduziert. Die Auswirkung auf die hydraulische Belastung ist nicht ausgeprägt außer bei Fabriken mit offenem Wasch- und Sortiersystem.

Überwachung: Für die Feststellung und Untersuchung von Laugenleckagen sind Leitfähigkeitselektroden geeignet, da in vielen Fällen für jeden einzelnen spezifischen Strom eine Korrelation zwischen Leitfähigkeit und Laugenkonzentration erstellt werden kann. In niedrig konzentrierten Strömen mit schwankenden pH-Werten ist der Einsatz von pH-Elektroden im on-line-Betrieb üblich.
Heiße Ströme, für die eine besondere Überwachung in der Kanalisation erforderlich ist, können leicht mit Temperaturelektroden im on-line-Betrieb überwacht werden.

Verlagerungseffekte: Änderungen bei den Tanks für Laugen und heiße Lösungen sowie bei ihrer Überwachung erfordern oft Änderungen oder Verbesserungen anderer Anlagenteile, besonders bei der Zellstoffwäsche oder Eindampfung. Der Umgang mit heißen Lösungen erfordert 5 – 10 % mehr Energie in der Eindampfanlage.

Betriebserfahrungen: Es gibt viele Möglichkeiten für die prozessintegrierte Lösung von Laugenleckagen und Behälterüberläufen sowie für die Einrichtung von diesbezüglichen Managementansätzen. Die Einschränkungen für die wirksame Einführung dieser Maßnahmen sind durch fabrikspezifische Engpässe, häufig bei der Zellstoffwäsche und –sortierung oder bei der Eindampfung, bedingt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Zellstoffproduktion von 1500 t/d fallen für zwei 3000 m^3 große Speicherbehälter einschließlich erforderlicher Verrohrung, Isolierung und Pumpen mit Elektroinstallation und Prozesskontrolle Investitionskosten in Höhe von 0,8 – 1,0 Mio. EUR an.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Diesen Maßnahmen wird aus Umweltgründen und aus Gründen der Prozesssicherheit Vorschub geleistet.

Referenzanlagen: Weltweit, zahlreiche moderne Fabriken.

2.3.13 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren

Beschreibung der Technik: Die sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung wird zur Elimination von organischen Stoffen angewandt, die im Wesentlichen durch biologischen Abbau erfolgt. Der sekundären Behandlung gewöhnlich vorgeschaltet ist eine Reihe von primären Behandlungsstufen wie Entfernung von Feststoffen, Neutralisation, Kühlung und Mengenausgleich. Diese Primärstufen haben den Schutz der sekundären Behandlung vor zu hohen Frachten und Stößen und vor allem die kostengünstigere Reinigung der Abwässer zum Ziel. Bei den meisten Zellstoff- und Papierfabriken werden die Abwässer mittels aerober Verfahren behandelt. Die am häufigsten in der Zellstoff- und Papierindustrie eingesetzten aeroben Behandlungsverfahren sind Belüftungsteiche und Belebtschlammverfahren. Erstere erreichen geringere Reinigungsleistungen, sind aber billiger.

Belüftungsteich
Ein Belüftungsteich weist ein großes Volumen auf mit Aufenthaltszeiten für das Abwasser zwischen 3 – 20 Tagen. Die Mikroorganismen wachsen in Suspension im Großteil des Abwassers, wobei im Teich mit 100 – 300 mg TS/l relativ geringe Feststoffkonzentrationen erreicht werden. Das Wachstum der Miroorganismen erfordert Sauerstoff, der nahezu ausschließlich mit mechanischen Belüftungseinrichtungen zugeführt wird. Oberflächenturbinenbelüfter sind die häufigsten Belüftungsaggregate, aber bei tiefen Teichen werden auch Bodenbelüfter mit dadurch eingetragener Luft oder mit Zugabe von Druckluft eingesetzt. Die Belüftungseinrichtungen sorgen auch für ein Vermischen, was für das Inschwebehalten der Feststoffe und für die Verbesserung der mikrobiellen Aktivität erforderlich ist.

Belüftungsteiche sind wegen der großen benötigten Fläche und Volumen Erdbecken und können mit und ohne Absetzbereich angelegt werden. Im ersten Fall erfolgt am Ende des Teichs keine Belüftung oder Mischung,

wodurch sich die Feststoffe absetzen können. Im zweiten Fall wird diese Sedimentation in einem separaten Becken durchgeführt. Bei diesem biologischen Verfahren wird vom Beckenende keine Biomasse zum Anfang zurückgeführt. Der sedimentierte Schlamm wird nur selten entfernt, alle 1 – 10 Jahre.

Der Einsatz von Belüftungsteichen ist in der jüngsten Vergangenheit aus mehreren Gründen weniger üblich geworden. Ein wichtiger Grund dafür ist die im Vergleich zum Belebtschlammverfahren niedrigere Reinigungsleistung.

Belebtschlammverfahren
Eine Belebtschlammanlage besteht aus zwei Teilen, dem Belüftungsbecken und dem Nachklärbecken (zweites Sedimentationsbecken). Im Belüftungsbecken als der ersten Stufe wird das Abwasser mit Hilfe von Mikroorganismen (Belebtschlamm) behandelt, die in hoher Konzentration vorhanden sind. Die Belebtschlammanlagen von Sulfatzellstofffabriken weisen eine Aufenthaltszeit von 15 – 48 h auf, wobei die längere Aufenthaltszeit für neuere Anlagen gilt.

Im Nachklärbecken wird der Schlamm vom Wasser getrennt. Der größte Teil des Schlammes wird zur Aufrechterhaltung der hohen Schlammkonzentration zum Belüftungsbecken zurückgeführt. Ein kleiner Teil des Schlammes, der dem Nettowachstum der Mikroorganismen entspricht, wird dem System als Überschussschlamm entnommen.

Die Sauerstoffzufuhr und die Vermischung im Belüftungsbecken erfolgen durch mechanische Belüftungseinrichtungen. Es sind verschiedene Belüfterarten wie Oberflächenbelüfter, getauchte Turbinenbelüfter, Feinblasenbelüfter und Strahlbelüfter im Einsatz.

Für das Belebtschlammverfahren gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahrens- und Anlagenkonzeptionen. Diese Alternativen können hinsichtlich der Auslegung des Belüftungsbeckens, der Nachklärung, der Belüftungseinrichtung sowie des Schlammrecyclings unterschiedlich sein. Eine besondere Verfahrenskonzeption stellt das Reinsauerstoff-Belebungsverfahren dar, bei dem Reinsauerstoff oder sauerstoffangereicherte Luft anstelle von normaler Atmosphärenluft eingesetzt wird.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine end-of-pipe-Technik.

Belüftungsteich
Belüftungsteiche können sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden. Allerdings ist ihr Einsatz hauptsächlich wegen der niedrigen bis mittleren Reinigungsleistung, des großen Flächen- und Volumenbedarfs, des hohen Energiebedarfs bei niedriger Energieeffizienz für Belüftung und Vermischung rückläufig. Zusätzlich bereiten manchmal Schaum- und Geruchsprobleme Schwierigkeiten. Die Entfernung und Entsorgung des Absetzschlammes können auch Probleme bereiten. Es ist zweifelhaft, ob Belüftungsteiche noch als BVT angesehen werden können.

Belebtschlammverfahren
Dieses Verfahren kann sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Sulfatzellstofffabriken angewandt werden. In bestehenden Fabriken sollten vorzugsweise einige Maßnahmen zur Reduktion des Wasserverbrauchs zur Reduzierung der Investitionskosten durchgeführt werden. Das Belebtschlammverfahren kommt oft zum Einsatz, wenn hohe oder sehr hohe Reinigungsleistungen erforderlich sind. Im letzteren Fall stellen jedoch zweistufige biologische Verfahren die optimale Verfahrenswahl dar.

Belebtschlammanlagen sind in der Zellstoff- und Papierindustrie weit verbreitet. Einer groben Abschätzung folgend, wird das Belebtschlammverfahren bei 60 – 75 % aller biologischen Abwasserbehandlungsanlagen in der Zellstoff- und Papierindustrie praktiziert. Es ist auch bei den jüngst errichteten Anlagen das üblichste Verfahren.

Die Vorteile des Belebtschlammverfahrens liegen im hohen oder sehr hohen Potenzial für die Reinigungsleistung, in den Möglichkeiten zur Prozesskontrolle (insbesondere des Sauerstoff-verbrauchs) und im relativ niedrigen Platzbedarf.

Die Nachteile bestehen in der relativ hohen Anfälligkeit für Störungen und dem daraus folgenden Risiko instabiler Betriebsverhältnisse, soweit keine Schutzmaßnahmen wie Misch- und Ausgleichsbecken getroffen werden, sowie im hohen Anfall von zu entsorgendem Belebtschlamm und in den hohen Betriebskosten.

Es bestehen Alternativen zu Belebtschlammsystemen, die kompakter und billiger sind. Die Erfahrung mit solchen Anlagen ist begrenzter, aber es wird der Anspruch erhoben, dass die Reinigungsleistungen im Vergleich zu Belebtschlammsystemen gleich sind.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen:

Belüftungsteich
Die Reinigungsleistungen variieren stark und hängen von der Art des Abwassers, der Auslegung der Behandlungsanlage und den Betriebsbedingungen ab. Typische Reinigungsleistungen betragen 40 – 85 % für den BSB_5, 30 – 60 % für den CSB und 20 – 45 % für den AOX, wobei die höheren Werte der Bereiche für hohe Aufenthaltszeiten (15 - 30 Tage) und Abwasser-temperaturen oder Schadstoffe gelten, die das Wachstum der Mikroorganismen nicht nachhaltig hemmen. Es erfolgt keine Stickstoffentfernung und nur eine geringe Phosphorentfernung im Bereich von 0 - 15 %.

Die Entfernung der Feststoffe hängt stark vom Einzelfall ab und in einigen Fällen enthält der Ablauf mehr Feststoffe als der Zulauf. Die zulaufenden Feststoffe werden in einem Teich mit Absetzbereich ausreichend entfernt, aber durch das mikrobielle Wachstum entstehen biologische Feststoffe mit schlechten Absetzeigenschaften. Die Ableitung von Feststoffen ist bei Teichen mit hoher Aufenthaltszeit und mit Absetzbereichen niedriger.

Im Vergleich zum Belebtschlammverfahren können nachteilige Effekte wie gelegentlicher schwerer Nebel bei feuchten und kalten Wetterbedingungen und Gerüche aus anaeroben oder anoxischen Bereichen des Teichs auftreten.

Belebtschlammverfahren
Die Reinigungsleistungen schwanken und hängen von der Art des Abwassers, der Anlagenauslegung und den Betriebsbedingungen ab. Typische Reinigungsleistungen liegen in den Bereichen 85 - 98 % für den BSB_5 und 60 - 85 % für den CSB.
Die AOX-Reduktion liegt im Bereich von 40 - 65 % und Phosphor und Stickstoff werden zu 40 – 85 % beziehungsweise zu 20 - 50% reduziert. Die gesamte Reinigungsleistung für die abfiltrierbaren Stoffe beträgt für die Primär- und Sekundärbehandlung 85 - 90 %.

Typische Konzentrationen für diese Parameter nach Belebtschlammbehandlung werden in Tabelle 2.36 wiedergegeben. Bei gut konzipierten und betriebenen Anlagen kann der leicht biologisch abbaubare Anteil der organischen Stoffe, bestimmt als BSB_5, auf 20 - 40 mg/l und der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen auf das gleiche Niveau reduziert werden. Die Konzentrationen für Phosphor und Stickstoff korrelieren in hohem Maße mit den abfiltrierbaren Stoffen, so dass der Gehalt an ungelösten Nährstoffen durch sorgfältigen Anlagenbetrieb auf ein sehr niedriges Niveau gebracht werden kann. Die Ablauf-CSB-Konzentration, die ein Maß für den Gesamtgehalt an organischen Substanzen darstellt, hängt vom Anteil an schwer abbaubaren Stoffen ab.

Parameter	BSB_5	CSB	Abf. St.	gesamt-P	gesamt-N
Konzentration	20 - 40	300 - 500	20 - 40	0,2 – 0,4	2 - 4

Tabelle 2.36: Typische Konzentrationen in [mg/l] im Abwasser von Sulfatzellstofffabriken nach biologischer Behandlung (Belebtschlammanlagen) unter Annahme von gut bemessenen und betriebenen Anlagen

Verlagerungseffekte:

Belüftungsteich
Belüftungsteiche benötigen großen Platzbedarf, der nicht immer in der Nachbarschaft oder innerhalb des Fabrikgeländes zur Verfügung steht. In den Belüftungsteichen fällt im Vergleich zum Belebtschlammverfahren

weniger Schlamm an, der aber schwierig zu entwässern ist. Deshalb benötigt die Schlammentsorgung durch Verbrennung, bezogen auf die Trockensubstanz, üblicherweise mehr Entwässerungschemikalien und Zusatzbrennstoff im Vergleich zum beim Belebtschlammverfahren anfallenden Schlamm.

Belebtschlammverfahren
Beim Belebtschlammverfahren fällt Schlamm an, der nach Entwässerung verbrannt werden kann, wobei in einigen Fällen Überschussenergie zur Verfügung steht. Das behandelte Abwasser ist für eine Wiederverwendung an einigen Stellen im Produktionsprozess sauber genug. Das Problem ist, dass üblicherweise die Abwasserbehandlungsanlage so weit von der Fabrik entfernt liegt, dass ein Recycling nicht wirtschaftlich ist.

Betriebserfahrungen:

Belüftungsteich
Seit langer Zeit sind in vielen Zellstoff- und Papierfabriken Belüftungsteiche zum Erreichen von mittleren Reinigungsleistungen im Einsatz. Allerdings sind gegenwärtig viele der in dieser Industrie bestehenden Teiche außer Betrieb genommen oder in hoch leistungsfähige Belebtschlammanlagen umgerüstet oder mit zusätzlichen Behandlungsbecken versehen worden.

Belebtschlammverfahren
Belebtschlammanlagen sind seit vielen Jahren in allen Arten von Sulfatzellstofffabriken mit guten Ergebnissen im Einsatz.

Belüftungsteich
Die Kosten für dieses Verfahren hängen stark davon ab, wo und wie der Belüftungsteich errichtet werden kann. Wenn er durch Nutzen einer Bucht eines Gewässers und durch Schließen der offenen Seite mittels eines Dammes errichtet werden kann, sind die Kosten deutlich niedriger im Vergleich zu einem Teich, der an Land gebaut werden muss.
Vor diesem Hintergrund schwanken die Investitionskosten stark und liegen im Bereich von 16 - 20 Mio. EUR für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktion von 1500 t/d Zellstoff. Diese Kosten umfassen auch die Primärbehandlung und die Schlammentwässerung. Die entsprechenden Betriebskosten betragen 1,3 – 1,7 Mio. EUR/a und bestehen hauptsächlich aus den Stromkosten, die für die Belüftung und Vermischung anfallen.

Belebtschlammverfahren
Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktion von 1500 t/d betragen die Investitionskosten für eine komplett neue Belebtschlammanlage ungefähr 19 – 24 Mio. EUR, wobei der niedrigere Wert für eine Fabrik zur Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff gilt. Diese Kosten beinhalten auch die erforderliche Primärbehandlung und Schlammbehandlung. Die damit einhergehenden Betriebskosten liegen bei 2,0 – 2,6 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Belüftungsteiche können eingesetzt werden, wenn niedrige oder mittlere Reinigungsleistungen für die im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe ausreichend sind. Das Belebtschlammverfahren kommt vorzugsweise zum Einsatz, wenn hohe oder sehr hohe Reinigungsleistungen erforderlich sind.

Referenzanlagen: Weltweit zahlreiche Anlagen für alle Abwasserarten.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT Report, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.14 Dritte Stufe zur Abwasserbehandlung mittels chemischer Fällung

Beschreibung der Technik: In einigen Fällen ist es notwendig, die Abwasserbehandlung um eine dritte Reinigungsstufe zu erweitern. In den meisten Fällen besteht die dritte Behandlungsstufe aus einer einfachen

chemischen Fällung. Die gelösten organischen Stoffe werden durch Fällung und nachfolgende Filtration oder Sedimentation abgetrennt.

Normalerweise werden für die Fällung folgende Chemikalien eingesetzt:

- Aluminiumsalze - $Al_2(SO_4)_3$ und $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$
- Eisensalze (Fe(III)) - $FeCl_3$ und $Fe_2(SO_4)_3$
- Eisensalze (Fe(II)) - $FeSO_4$
- Kalk

Zur Optimierung der Flockung werden in der Rührphase Polyelektrolyte eingesetzt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik ist sowohl für bestehende als auch für neue Fabriken anwendbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die dritte Behandlungsstufe mittels chemischer Fällung wird hauptsächlich zur Reduktion von Nährstoffen, vor allem von Phosphor angewandt. Ergebnisse von schwedischen Studien mit Pilotanlagen zur Kombination der biologischen Behandlung mit chemischer Fällung haben gezeigt, dass folgende Verminderungen erreicht werden können: Phosphor 80 – 90 %, Stickstoff 30 -60 %, CSB 80 – 90 %, AOX 80 - 90 % [PARCOM, 1994].

Verlagerungseffekte: Die Fällung von Abwasserinhaltsstoffen mit anorganischen Chemikalien führt zum Anfall von großen Mengen schmierigen Schlammes, der schwierig zu entwässern und auf einer Deponie abzulagern ist. Die Chemikalienkosten sind beträchtlich bei selektiver Reinigungswirkung; ungeladene Stoffe können nicht so wirksam wie dissoziierte Ionen eliminiert werden.

Betriebserfahrungen: Besondere Probleme in Verbindung mit der Anwendung dieser Technik sind nicht bekannt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Kapazität von 250000 t/a betragen die Investitionskosten 2,6 Mio. EUR und für eine Fabrik mit einer Kapazität von 500000 t/a 3,8 Mio. EUR. Die Investitionskosten für die chemische Fällung beinhalten den Ausgleichstank, die Chemikalienlösestation, die Einrichtungen zur Chemikaliendosierung, die Fällungs-/Flockungsanlage und die Nachklärung. Die Betriebskosten liegen bei 50000 Euro/a und sind für die Fabrik mit der niedrigeren Kapazität etwas niedriger.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Gewöhnlich wird die dritte Abwasserbehandlungsstufe nur dann als notwendig angesehen, wenn die Nährstoff-konzentrationen im Abwasser reduziert werden müssen, z.B. wenn das Abwasser der Fabrik in ein sehr empfindliches Gewässer eingeleitet wird.

Referenzanlagen: Großtechnisch wird die biologische Behandlung mit chemischer Fällung von Abwasser aus der Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff beispielsweise in Schweden angewandt (Skoghall, integrierte Fabrik zur Herstellung von Sulfatzellstoff und CTMP-Zellstoff).

Literatur:
[PARCOM, 1994], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.15 Erhöhung des Feststoffgehaltes der Schwarzlauge

Beschreibung der Technik: Im Laugen-Rückgewinnungskessel werden die anorganischen Stoffe reduziert und als Schmelze (hauptsächlich in Form von Na2S und Na2CO3) vom Boden abgezogen sowie die organischen Stoffe unter Wärmeerzeugung oxidiert. In herkömmlichen Kesseln ist im oberen Teil eine Oxidationszone und im unteren Teil eine Reduktionszone gegeben. Die konzentrierte Schwarzlauge wird der Reduktionszone über eine oder mehrere Düsen auf verschiedenen Niveaus zugeführt (siehe Figure 2.3). Die Zuführung der Verbrennungsluft erfolgt üblicherweise auf drei verschiedenen Niveaus als Primär,- Sekundär- und Tertiärluft (von unten nach oben gesehen).

Die Emissionen aus Laugen-Rückgewinnungskesseln bestehen hauptsächlich aus Staub, Stickoxiden und Schwefeldioxid. Die Emissionswerte werden durch Optimierung der Verbrennungsparameter wie Temperatur, Luftzufuhr, Feststoffgehalt der Schwarzlauge und chemisches Gleichgewicht so niedrig wie möglich gehalten.
Das Ziel einer weitergehenden Eindampfung besteht darin, einen so hoch wie möglichen Feststoffgehalt (TS) in der konzentrierten Schwarzlauge zu erreichen. Der TS-Gehalt der konzentrierten Schwarzlauge liegt nach herkömmlicher Eindampfung bei 65 %. Durch den Einbau einer Superkonzentrierstufe sind TS-Gehalte bis 80 % erreichbar. Allerdings hängt der erreichbare TS-Gehalt von der Holzart ab. Die angestrebte Marke für den Feststoffgehalt der Dicklauge liegt bei einer normalen Fabrik nach der Eindampfung bei 72 – 73 %, gemessen vor dem Mischbehälter des Laugen-Rückgewinnungskessels.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Sie kann sowohl in neuen als auch in bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden. Eine Superkonzentrierstufe kann auch als separater Schritt einer bestehenden Eindampfanlage installiert werden. Dies hängt von der Holzart und der Temperatur ab. In der Praxis ist es bei Eukalyptus- und anderen Laubholzarten schwierig, einen TS-Gehalt von mehr als 70 % zu erreichen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Schwefelemissionen aus Laugen-Rückgewinnungskessel liegen nur im Bereich von 5 - 50 mg S/Nm^3 bzw. 0,1 - 0,3 kg S/t Zellstoff und betragen manchmal nahezu Null, da mehr Natrium verdampft und mit dem Schwefel reagiert.

Verlagerungseffekte: Die Reduktion der Schwefelemissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel durch Erhöhung des TS-Gehaltes führt vor der Rauchgasreinigung zu einer Erhöhung der Staubemissionen. Dafür müssen zum Ausgleich wirksamere und teurere Elektrofilter eingesetzt werden.

Bei hohen Feststoffgehalten (TS-Gehalt > 80 %) tritt in der letzten Verdampferstufe eine beträchtliche Freisetzung von Schwefelverbindungen auf, die erfasst und verbrannt werden müssen.

Soweit keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, führt die Erhöhung des Feststoffgehaltes der Schwarzlauge zu tendenziell höheren NO_x-Emissionen aus dem Rückgewinnungskessel.

Betriebserfahrungen: Diese Technik ist in mehreren Zellstofffabriken in Nordeuropa getestet worden. Sie befindet sich großtechnisch in Nord- und Südeuropa in Betrieb.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: In bestehenden Fabriken hängen die Kosten für eine verbesserte Eindampfung und Konzentrierung der Schwarzlauge mit der vorgegebenen Zielkonzentration zusammen. In bestehenden Fabriken mit einer Zellstoffproduktion von 1500 t/d stellen sich die Investitionskosten für die Erhöhung des TS-Gehaltes der Schwarzlauge, beginnend bei 63 % TS, wie folgt dar:

Konzentrierung von 63 % auf 70 % TS, 1,7 - 2,0 Mio. EUR
Konzentrierung von 63 % auf 75 % TS, 3,5 - 4,0 Mio. EUR
Konzentrierung von 63 % auf 80 % TS, 8,0 - 9,0 Mio. EUR

Die Betriebskosten für diese Verbesserungen sind wegen der Erhöhung der Wirtschaftlichkeit auf der Energieseite (1 – 7 %) und des Gewinns zusätzlicher Kesselkapazität nicht beträchtlich. Die Erhöhung des Feststoffgehaltes in der dem Laugen-Rückgewinnungskessel zugeführten Schwarzlauge kann sogar unter dem Strich zu etwas Einsparung führen.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Sulfatzellstofffabriken können mit Schwefeldioxid-Emissionsproblemen konfrontiert sein, wobei diese Emissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel durch Erhöhung des Feststoffgehalts in der Schwarzlauge reduziert werden können. Fallweise kann diese Technik zu einer Erhöhung der Kapazität des Laugen-Rückgewinnungskessels führen (4 - 7 %).

Alternativ können für den gleichen Zweck Rauchgaswäscher installiert werden (siehe 2.3.16).

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Nordeuropa und mindestens eine in Spanien.

Literatur
[Finnish BAT Report, 1997]

2.3.16 Einbau von Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel

Diese Technik kann alternativ zu der in 2.3.15 beschriebenen Technik eingesetzt werden.

Beschreibung der Technik: Zur Reduzierung der Schwefeldioxidemissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel kann dieser mit einem Rauchgaswäscher ausgerüstet werden. Ein Nasswäscher für einen Rückgewinnungskessel für eine Sulfatzellstofffabrik kann drei Verfahrensstufen beinhalten (von unten nach oben, siehe Abbildung 2.12).

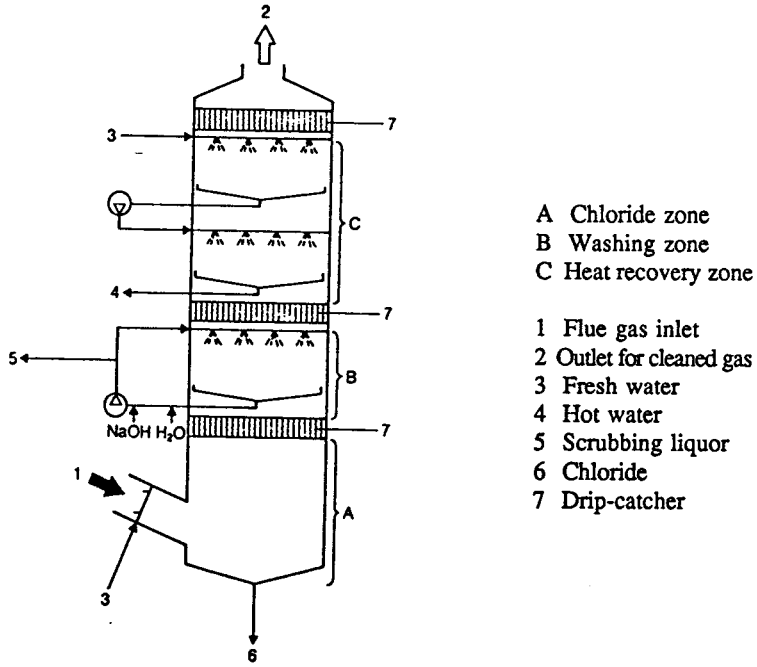


Abbildung 2.12: Rauchgaswäscher für Laugen-Rückgewinnungskessel
[SEPA-Report 4008, 1992]
Chloride zone = Chloridzone; Washing zone = Waschzone; Heat recovery zone = Wärmerückge-winnungszone;
Flue gas inlet = Rauchgaseintritt; Outlet for cleaned gas = Austritt des gereinigten Abgases; Fresh water = Frischwasser; Hot water = Heißwasser; Scrubbing liquor = Waschflüssigkeit; Chloride = Chlorid; Drip-catcher = Tropfenabscheider

Chlorid wird mit kaltem Wasser absorbiert, das am Rauchgaseintritt zugeführt wird. Die Reinigungsleistung für Chlorid liegt normalerweise bei 60 – 70 %. In der Waschzone werden SO_2 und Staub entfernt. Die Wäsche findet bei einem pH-Wert von 6 - 7 statt. Der pH-Wert wird durch Zugabe von Natronlauge, Schwachlauge oder oxidierter Weißlauge eingestellt. SO_2 reagiert mit dem Waschwasser unter Bildung von Na_2SO_3 und auch etwas Na_2SO_4. TRS in Form von H_2S kann zusammen mit SO_2 aus dem Abgas entfernt werden. Allerdings würde für die Entfernung von Schwefelwasserstoff aus den Rauchgasen ein hoher pH-Wert des Waschwassers erforderlich sein. Bei einem solch hohen pH-Wert würde auch Kohlendioxid absorbiert werden, was wegen der im Laufe der Verbrennung entstehenden relativ großen Kohlendioxidmengen unrealistisch ist.
Überschüssiges Waschwasser wird zum Prozess rückgeführt, normalerweise zur Weißlaugenaufbereitung.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Ein Abgaswäscher wird vorzugsweise gleichzeitig mit der Errichtung eines neuen Kessels eingebaut, gleichwohl auch bestehende Kessel, allerdings zu sehr viel höheren Kosten, mit einem Wäscher ausgerüstet werden können. Laugen-Rückgewinnungskessel, in denen Schwarzlauge mit hohem Feststoffgehalt verbrannt wird, bewirken niedrige Schwefelemissionen, was den Einbau eines Wäschers weniger interessant macht.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Reinigungsleistung für SO_2 liegt üblicherweise bei > 90 %. Ein Wäscher für einen Laugen-Rückgewinnungskessel vermindert die Schwefelemissionen von 0,5 - 2 kg S/t Zellstoff auf 0,1 – 0,3 kg S/t Zellstoff bzw. die Konzentrationen von 50 - 200 mg/Nm^3 auf 10 - 50 mg/Nm^3.

Emissionsüberwachung: Für die Überwachung des Wäscherbetriebs ist eine kontinuierliche SO_2-Messung vor und nach dem Wäscher erforderlich.

Verlagerungseffekte: Durch Zuführung von Frischwasser am Wäscherkopf kann Heißwasser erzeugt werden (wenn eine Notwendigkeit dafür gegeben ist). Das Wasser aus der Abgaswäsche ist normalerweise sauber genug, um es als Waschwasser in der Bleichanlage zu verwenden.
Der Wäscherbetrieb benötigt Alkali in Form von oxidierter Weißlauge, Schwachlauge oder Natronlauge, was die Kapazitätsanforderungen an die Rückgewinnungsabteilung erhöhen kann.

Betriebserfahrungen: Abgaswäscher für Laugen-Rückgewinnungskessel können ohne jegliche Probleme betrieben werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Ausrüstung wird üblicherweise als Gesamtpaket vom Hersteller geliefert. Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktionskapazität von 250000 bis 500000 t/a Zellstoff betragen die Investitionskosten 7,2 Mio. EUR bzw. 10,4 Mio. EUR. Dies beinhaltet den Wäscher, die Waschwasserpumpen, die Kreislaufpumpen, die Elektroinstallation und die Messtechnik. Die Betriebskosten belaufen sich auf 580000 Euro/a bzw. 920000 Euro/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Gründe für die Einführung dieser Technik liegen in der Reduktion der SO_2-Emissionen und in der Wärmerückgewinnung. Mit hohen Feststoffgehalten in der Schwarzlauge können die primären SO_2-Emissionen beträchtlich reduziert werden; für Fabriken mit dieser Technik ist die Motivation für den Einbau eines Wäschers gering. Die internen Energieverhältnisse der Fabrik könnten ein Beweggrund sein, im Wäscher Warmwasser zu erzeugen. In einem modernen Rückgewinnungskessel einer Sulfatzellstofffabrik, insbesondere wenn er mit Schwarzlauge mit hohem Feststoffgehalt betrieben wird, stellt H_2S normalerweise kein Problem dar, das mittels Abgaswäsche zu lösen wäre.

Referenzanlagen: In den vergangenen Jahrzehnten sind für zahlreiche Laugen-Rückge-winnungskessel Wäscher installiert worden.

Literatur:
[SEPA-Report 4713-2, 1997], [SEPA-Report 4008, 1992]

2.3.17 Erfassung von niedrig belasteten Gasen zur Verbrennung im Laugen-Rückgewinnungskessel

Beschreibung der Technik: Die Verminderung der TRS-Emissionen kann in die Behandlung der übelriechenden nicht kondensierbaren Gase (NCG), die um 4 kg TRS/t Zellstoff (bestimmt als S) enthalten und in verdünnte, schwach übelriechende Gase, die um 0,5 kg TRS/t Zellstoff (bestimmt als S) enthalten, eingeteilt werden. Die Behandlung der konzentrierten NCG erfolgt im Allgemeinen durch ihre Erfassung in den Koch- und Eindampfabteilungen (siehe 2.3.11) und ihre Entsorgung mittels Verbrennung. Dazu stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung.

Eine Möglichkeit besteht in der Verbrennung der konzentrierten übelriechenden Gase im Laugen-Rückgewinnungskessel. In Europa gibt es ein paar Fabriken und weltweit vier weitere, die die konzentrierten übelriechenden Gase in einem Laugen-Rückgewinnungskessel verbrennen.

Beim Umgang mit Schwarz- und Weißlauge, bei der Zellstoffwäsche und auf den Bodengängen mit Schwarz- und Weißlaugeresten fallen in großer Menge niedrig belastete Gase an. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt auftretende Zusammensetzung schwankt von Fall zu Fall stark.

Die Erfassung und der Transport erfolgen mittels Gasleitungen und Gebläsen. Die erfassten schwach übelriechenden Gase können als sekundäre oder tertiäre Verbrennungsluft im Rückgewinnungskessel verbrannt werden. In Abhängigkeit von der Menge an verdünnten NCG und dem Layout der Zellstofffabrik kann es mehrere Systeme zur TRS-Zerstörung für die unterschiedlichen Abteilungen geben. Als Alternative zur Verbrennung sind alkalische Wäscher oder oxidierende Wäscher einsetzbar. Der Laugen-Rückgewinnungskessel ist in der Lage, die verdünnten übelriechenden Gase zu entsorgen. Allerdings ist er nicht die einzige Möglichkeit für die Verbrennung verdünnter Gase.

Der Anfall an verdünnten NCG liegt für eine Fabrik mit einer Produktion von 1000 t/d Zellstoff normalerweise bei ungefähr 50000 - 100000 m3/h. Die Abgasmenge hängt von der Konzeption der Fabrik ab; im Vergleich zum diskontinuierlichem Kochen und Druckwäschern ist die Abgasmenge beim kontinuierlichen Kochen und Diffusionswaschanlagen geringer.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann in neuen und bestehenden Zellstofffabriken eingesetzt werden.

In bestehenden Zellstofffabriken kann die Nachrüstung eines Systems zur Erfassung und Behandlung von verdünnten NCG sehr schwierig sein. Die Gründe liegen im dafür Grenzen setzenden Layout und in den großen Entfernungen zwischen den Quellen für übelriechende Gase und dem Laugen-Rückgewinnungskessel.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die durch in großer Menge (mit niedriger Konzentration) anfallenden Gase bedingten TRS-Emissionen können fast vollständig durch Erfassen und Verbrennen reduziert werden.

Verlagerungseffekte: Es treten keine Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Diese Technik ist in Referenzfabriken seit mehreren Jahren ohne Probleme im Einsatz.

Der dem Laugen-Rückgewinnungskessel zuführbare Volumenstrom an Tertiärluft ist begrenzt, so dass andere Verbrennungsalternativen notwendig sein können.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktionsmenge von 1500 t/d Zellstoff liegen die Investitionskosten für die Erfassung schwach übelriechender Gase und deren Verbrennung im Laugen-Rückgewinnungskessel bei 3,6 – 4,5 Mio. EUR. Da der Schwerpunkt der Kosten auf die Verrohrung entfällt, können die Kosten jedoch bei solchen Fabriken beträchtlich höher sein, die sich über ein großes Areal erstrecken. Die Betriebskosten für das System betragen 0,3 – 0,5 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der wichtigste Grund für die Einführung dieser Technik ist die effizientere Reduktion der TRS-Emissionen aus der Sulfatzellstofffabrik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Zellstofffabriken.

Literatur:
[TAPPI, Proceedings, 1997], [TAPPI, Proceedings, 1994], [J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SEPA-Report 4713-2]

2.3.18 Erfassung und Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen (stark und schwach belastete Gase) im Kalkofen

Beschreibung der Technik: Die Verminderung der in erster Linie durch TRS-Emissionen verursachten Emission von übelriechenden Gasen kann in die Behandlung der konzentrierten, nicht kondensierbaren Gase (NCG) und der verdünnten oder schwach übelriechenden Gase eingeteilt werden. Die Behandlung der konzentrierten NCG kann im Allgemeinen durch Erfassung und Verbrennung der NCG aus den Koch- und Eindampfabteilungen durchgeführt werden.

Die Verbrennung der konzentrierten NCG kann im Kalkofen oder in einer separaten, mit einem SO_2-Wäscher ausgerüsteten Verbrennungsanlage erfolgen. Die konzentrierten NCG enthalten mehr als 90 % aller TRS-Verbindungen, die beim Kochprozess gebildet werden.

Kleine Volumenströme hochkonzentrierter Abgase fallen im Terpentinrückgewinnungssystem, in Dampfkondensatoren von kontinuierlichen Kochern, in Speicherbehältern, in Speichertanks für angefaulte Kondensate, durch die Freisetzung von nicht kondensierbaren Gasen aus dem Eindampfer und beim diskontinuierlichen Kochen aus dem Rückgewinnungssystem für Blasdampf anstelle aus dem Dampfkondensator beim kontinuierlichen Kochen. Die zeitliche Zusammensetzung variiert von Fall zu Fall stark.

Die Hauptquellen schwach übelriechender Gase sind die Wasch- und Sortieranlagen für ungebleichten Zellstoff, verschiedene Tanks für Zellstoff- und Waschlauge aus dem Waschen und Sortieren, Speichertanks für Schwarzlauge in der Eindampfanlage und Speichertanks mit Weißlauge in der Kaustifizieranlage.

Die Erfassung und der Transport der Gase erfolgen mittels Gasrohrleitungen, Strahlpumpen und Gebläsen. Die erfassten schwach übelriechenden Gase können als Sekundärluft im Kalkofen oder in einem separaten Ofen, in einem Rindenkessel oder einem anderen Hilfskessel oder als Sekundär- oder Tertiärluft in einem Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt werden. In Abhängigkeit von der Menge an verdünnten NCG und dem Layout der Zellstofffabrik kann es mehrere Systeme zur TRS-Zerstörung für die unterschiedlichen Abteilungen geben.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden. In bestehenden Zellstofffabriken kann die Nachrüstung eines Systems zur Erfassung und Behandlung verdünnter NCG schwierig sein.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Allein durch die Erfassung und Verbrennung der konzentrierten TRS-haltigen Abgase kann die TRS-Emission einer Sulfatzellstofffabrik um mehr als 90 % reduziert werden.

Verlagerungseffekte: Der Vorteil der Verbrennung von übelriechenden Gasen im Kalkofen besteht darin, dass kein zusätzlicher Ofen benötigt wird. Außerdem kann der im Abgas enthaltene Schwefel am Kalk absorbiert werden, was die Schwefeldioxidemissionen erniedrigt. Allerdings kann im Kalkofen nur eine begrenzte Menge an Schwefel durch gasförmiges Natrium unter Bildung von Natriumsulfat absorbiert werden. Auf diese Weise ist das im Kalkschlamm auftretende Natriumcarbonat (Na_2CO_3) die wichtigste Verbindung zur Schwefelabsorption. Sobald diese Absorptionskapazität erschöpft ist, wird SO_2 emittiert. Dieser Effekt wird durch die Verbrennung von übelriechenden, nicht kondensierbaren Gasen im Ofen verstärkt. Deshalb besteht üblicherweise zwischen den SO_2-Emissionen und der Menge an übelriechenden Gasen eine klare funktionale Beziehung. Zur weitgehenden Verminderung der SO_2-Bildung kann der Schwefelgehalt im Brennstoff gesenkt werden. Weiterhin können, wenn übelriechende, nicht kondensierbare Gase (NCG) im Kalkofen verbrannt werden, die darin enthaltenen Schwefelverbindungen vor ihrer Verbrennung im Kalkofen ausgewaschen werden.

Die Verminderung der TRS-Emissionen kann auch zu einer Reduzierung der übelriechenden Verbindungen im abgeleiteten Abwasser führen.

Im Mittel können 10 - 15 % des im Kalkofen eingesetzten Brennstoffs durch den Heizwert der konzentrierten, übelriechenden Gase ersetzt werden. Allerdings kann es wegen des schwankenden Energiegehaltes des Gases zu Schwierigkeiten bei der Einhaltung einer guten und gleichmäßigen Qualität des Kalkes kommen. Die Kondensation von Methanol nach der Strippkolonne kann dieses Problem der schwankenden Gasqualität minimieren, was aber zusätzliche Investitionskosten erfordert.

Betriebserfahrungen: Diese Technik wird weit verbreitet eingesetzt. Einige Probleme sind in modernen Kalköfen wegen des niedrigen Sauerstoffüberschussniveaus aufgetreten.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer Produktionskapazität von 1500 t/d Zellstoff betragen die Investitionskosten für die Erfassung und Verbrennung sowohl der stark als auch schwach belasteten Gase üblicherweise 4 – 5 Mio. EUR bei neuen Fabriken und 5 – 8 Mio. EUR bei bestehenden Fabriken. Soweit der

Heizwert des zurückgewonnenen Methanols genutzt werden kann, entsteht keine wesentliche Erhöhung der Betriebskosten. Anderenfalls ist eine Erhöhung von 0,3 – 0,5 Mio. EUR/a zu erwarten.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Hauptgrund für die Einführung dieser Technik ist die Reduktion der TRS-Emissionen aus der Sulfatzellstofffabrik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa und Amerika.

Literatur:
[TAPPI, Proceedings, 1997]

2.3.19 Erfassung und Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen (stark und schwach belastete Gase) in einem separaten Ofen, der mit SO_2-Wäschern ausgerüstet ist

Beschreibung der Technik: Die Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen (siehe 2.3.17 und 2.3.18) kann auch in einer separaten, mit einem SO_2-Wäscher ausgerüsteten NCG-Verbrennungsanlage durchgeführt werden. Bei einem separaten Ofen kann der Heizwert in einem Kessel genutzt werden.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Maßnahme kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden.

In bestehenden Zellstofffabriken kann die Nachrüstung der Erfassung und Behandlung von verdünnten NCG-Gasen schwierig sein.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Allein durch die Erfassung und Verbrennung der konzentrierten NCG können die TRS-Emissionen einer Sulfatzellstofffabrik um über 90 % reduziert werden.

Verlagerungseffekte: Soweit keine Gegenmaßnahmen getroffen werden, führt die Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen in einem separaten Ofen tendenziell zu höheren NO_x–Emissionen.

Betriebserfahrungen: Diese Technik ist in vielen Fabriken seit mehreren Jahren ohne Probleme im Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Produktionskapazität von 1500 t/d Zellstoff betragen die Investitionskosten bei neuen Fabriken üblicherweise 7 - 8 Mio. EUR und bei bestehenden Fabriken 8 - 11 Mio. EUR. Die Betriebskosten steigen normalerweise um 0,3 – 0,5 Mio. EUR/a, weil der Energieinhalt des rückgewonnenen Methanols nicht genutzt werden kann.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Hauptgrund für die Einführung dieser Technik ist die Reduktion der TRS-Emissionen aus der Sulfatzellstofffabrik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[TAPPI, Proceedings 1997]

2.3.20 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen in Hilfskesseln (Rinde, Öl, Kohle) und im Kalkofen

Beschreibung der Technik: In Zellstofffabriken kann für die ergänzende Dampferzeugung, üblicherweise gekoppelt mit dem Einsatz von Turbinen zur Stromerzeugung, eine Reihe von regenerativen und fossilen Brennstoffen wie Rinde, Kohle, Öl oder Erdgas eingesetzt werden. Zur Verbrennung dieser Brennstoffe sollten umweltfreundliche Verbrennungstechniken zur weitgehenden Minimierung von Staub-, SO_2- und auch NO_x-Emissionen eingesetzt werden.

In 6.3.12 werden für die Verbrennung von festen Brennstoffen sowie von Abfällen aus der Zellstoff- und Papierfabrik Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen dargestellt. Wirbelschichtsysteme sind gut geeignet für die Verbrennung von Steinkohle und Braunkohle als Haupt- oder Zusatzbrennstoff, wobei die sorgfältige Prozesssteuerung für niedrige NO_x–Bildungsraten spricht.

In herkömmlichen öl- oder erdgasbefeuerten Kesseln müssen die Brenner, über die das Brennstoff-Luft-Gemisch zugeführt wird, so konzipiert sein, dass Verbrennungsbedingungen mit niedrigen NO_x-Emissionen aufrecht erhalten werden. In herkömmlichen Kesseln wird auch oft Kohle oder Torf in Form von feinem Staub verbrannt, der Brennern zugeführt wird, die bei sorgfältiger Konzipierung zu niedrigen NO_x-Emissionen führen.

Die primäre Verbrennungsluft wird dem Brenner über das Brennstoff-Luft-Gemisch zugeführt. Sekundäre und tertiäre Luft erfolgen über separate Zuführungen, um ein geeignetes Gleichgewicht der Primär-/Sekundär-/Tertiärluft in der Flamme und damit Verbrennungsbedingungen mit niedrigem NO_x-Anfall aufrecht zu erhalten. Soweit notwendig, könnte über der Flammenzone noch etwas Luft zugeführt werden, um die Verbrennung des Brennstoffs zu vervollständigen.

Der Zweck der mehrstufigen Verbrennungsluftzuführung besteht darin, den Brennstoff ohne Luftüberschuss und sogar unter reduzierenden Bedingungen zu verbrennen, was Folgendes bedeutet:

- Es ist nicht genug Sauerstoff für eine nennenswerte NO_x-Bildung vorhanden.
- Die Flammentemperatur ist im Vergleich zu herkömmlichen Brennern niedriger, was die NO_x-Bildung weiter vermindert.

Ein Teil des gebildeten NO_x wird wieder zu elementarem Stickstoff reduziert, z.B. wenn restliche Brennstoffmengen in der äußeren Flammenzone oder außerhalb der Flamme verbrannt werden.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen können sowohl in bestehenden als auch in neuen Kesseln eingesetzt werden.
Wenn staubförmige feste Brennstoffe wie Kohle oder Torf eingesetzt werden, ist es wichtig, dass sie bei hoher Feuchtigkeit vorgetrocknet werden, um eine schnelle und effiziente Verbrennung zu bewerkstelligen. Zusätzlich ist in diesem Fall die Vorwärmung der Verbrennungsluft erforderlich, um eine schnelle Entzündung und vollständige Verbrennung sicherzustellen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Grundsätzlich schwanken die Emissionen in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff. Im Vergleich zu herkömmlichen Brennern mit NO_x-Emissionen in Höhe von 250 - 500 mg/MJ erreichen Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen im emittierten Abgas NO_x-Werte im Bereich von 120 - 140 mg/MJ.

Emissionsmessungen: Die Emissionsmessung kann on-line mit NO_x–Messgeräten durchgeführt werden. Auch Sauerstoffmessgeräte können dazu beitragen, dass Verbrennungsbedingungen mit niedriger NO_x-Bildung aufrechterhalten werden. Für genaue Messungen vor Ort sind Probenahmen und Laboranalysen erforderlich.

Verlagerungseffekte: Es bestehen keine Verlagerungseffekte.

Betriebserfahrungen: Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen werden erfolgreich im Zuge der Nachrüstung von bestehenden Kesseln und bei der Errichtung von neuen Kesseln eingesetzt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten betragen üblicherweise 0,5 – 0,8 Mio. EUR. Eine wesentliche Erhöhung der Betriebskosten ist nicht zu erwarten.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen werden hauptsächlich zur Reduktion der NO_x-Emissionen aus Hilfskesseln eingesetzt.

Referenzanlagen: Zahlreiche Fabriken in Nord- und Westeuropa.

Literatur:
[Rentz, 1996], [J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [Ministry of Education, 1994]

2.3.21 Einsatz der Technik der selektiven nicht-katalytischen Reduktion bei Rindenkesseln

Beschreibung der Technik: Wegen der niedrigen Verbrennungstemperatur treten bei Rindenkesseln relativ niedrige NO_x-Emissionen auf. Soweit nur mit Rinde gefeuert wird, liegen die Emissionen üblicherweise bei 70 - 100 mg NO_x /MJ. In Zeiten, in denen im Rindenkessel Öl eingesetzt wird, kann eine Erhöhung der NO_x-Emissionen auf ungefähr 100 - 150 mg NO_x /MJ festgestellt werden. Sauerstoffüberschuss beeinflusst die NO_x-Bildung und sollte deshalb vermieden werden. Ein zu niedriger Sauerstoffüberschuss beinhaltet allerdings die Gefahr von CO- und VOC-Emissionen.

Primäres NO wird in den Öfen entweder durch Reaktion mit Luftstickstoff (thermisches NO) oder durch Oxidation des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffs (Brennstoff-NO) gebildet. Die Bildung von thermischem NO steigt mit ansteigenden Flammentemperaturen. Ein Teil des NO wird weiter zu NO_2 oxidiert.

Beim SNCR-Verfahren wird NO durch Harnstoff zu molekularem Stickstoff reduziert und Kohlendioxid und Wasser entsprechend der nachfolgenden Reaktionsgleichung gebildet:

$$2\ NO + (NH_2)_2CO + 1/2\ O_2 \rightarrow 2\ N_2 + CO_2 + 2\ H_2O.$$

Die Reaktion erfolgt bei einer Temperatur um 1000°C.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Ausrüstung für die Eindüsung von Harnstoff (oder Ammoniak) kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Kesseln installiert werden. Es kann schwierig sein, die optimalen Reaktionsbedingungen bei bestehenden Kesseln einzustellen, weshalb das Potenzial zur NO_x-Reduktion auf ungefähr 40 % vermindert wird.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die gesamte, durch die Änderung der Verbrennungsbedingungen (siehe 2.3.20) und/oder durch Einsatz des SCNR-Verfahrens erreichbare NO_x-Reduktion liegt bei 30 – 50 %. Die NO_x-Emissionen würden dann 40 - 60 mg/MJ, entsprechend ca. 100 - 200 mg/Nm^3, betragen. Die Emissionen von gasförmigem Schwefel sind niedrig oder liegen bei der Verbrennung von Rinde bei 10 - 20 mg/MJ.

Emissionsmessungen: Es kann eine kontinuierliche NO_x-Messung installiert werden. Die Erfahrung damit ergab brauchbare Ergebnisse.

Verlagerungseffekte: In Abhängigkeit von der stöchiometrischen Zugabe von Harnstoff kann eine leichte Erhöhung von Ammoniak (Schlupf) festgestellt werden.

Betriebserfahrungen: Diese Technik ist seit den frühen 90er Jahren in Betrieb. Die Verfügbarkeit dieser Technik ist normalerweise gut, aber es ist eine Reihe von Vorkommnissen aufgetreten, bei denen die Eindüsung der Harnstofflösung zu Beschädigungen innerhalb des Kessels geführt hat.

Vor diesem Hintergrund sind fallweise eine Betrachtung des Sicherheitsrisikos und der möglichen Kostenauswirkungen durchzuführen sowie der Betrieb sorgfältig zu überwachen.
Die Steuerung der SNCR-Technik ist wegen der innerhalb relativ kurzer Zeit auftretenden Frachtschwankungen in den Rindenkesseln schwierig. Dies führt zu Schwankungen der mit dieser Technik erreichbaren NO_x–Reduktion,

Das Verfahren kann eine potenzielle Emissionsquelle für N_2O oder NH_3 darstellen, aber diesbezügliche Messungen zeigen, dass das Risiko dafür unbedeutend ist. Zumindest stellt in Schweden die SNCR-Technik für Rindenkessel eine gebräuchliche Technik dar.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Produktionskapazität von 250000 und 500000 t/a gebleichten Sulfatzellstoff betragen die Investitionskosten für die Errichtung einer SNCR-Anlage für den Rindenkessel 690000 Euro bzw. 1,15 Mio. EUR. Die Investitionskosten beinhalten die Einrichtungen zum Eindüsen, Leitungen, Pumpen, Tanks und Umbau/Anpassung des Kessels. Die Betriebskosten werden hauptsächlich durch den Harnstoffeinsatz verursacht. Es kommen ca. 1 - 2 kg Harnstoff/kg entferntes NO_x zum Einsatz.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: NO_x weist ein Versäuerungspotenzial auf und kann die Eutrophierung von Gewässern erhöhen. In einigen empfindlichen Seengebieten in Europa wird deshalb eine weitere Reduktion der NO_x-Emissionen mit Sekundärmaßnahmen wie der SNCR-Technik für erforderlich erachtet. Eine Abgabe auf NO_x-Emissionen in Schweden kann auch einen Anreiz für weitere NO_x-Reduktionen darstellen.

Referenzanlagen: Einige Fabriken in Schweden

Literatur:
[SEPA-Report 4008], [SEPA-Report 4713-2, 1997], [Personal information from a Swedish mill]

2.3.22 Technik der Luftzuführung über der Flammenzone für Laugen-Rückgewinnungskessel

Beschreibung der Technik: Der Rückgewinnungskessel beim Sulfatzellstoffverfahren wird im Bodenbereich mit reduzierender Atmosphäre betrieben. Entsprechend ist die NO_x–Bildung im Rückgewinnungskessel im Vergleich zu anderen Öfen niedriger. Allerdings haben sich Änderungen beim Luftzuführungssystem in Bezug auf die NO_x–Reduktionen als erfolgreich erwiesen. Die Bildung von thermischem NO_x in der Verbrennungszone kann durch eine begrenzte Luftzuführung vermindert werden. Bei dementsprechend konzipierten Systemen werden Luftzuführungsöffnungen auf quartiärem Niveau installiert. In einem Rückgewinnungskessel beim Sulfatzellstoffverfahren kann die NO_x-Bildung durch Modifizierung des Luftzuführsystems wie der Einführung einer vierten Luftzuführung im oberen Teil des Kessels erreicht werden. Die mit dieser Technik verbundene Reduktion der NO_x-Emissionen ist schwankend und hängt von der Kesselart und Kesselkonzeption sowie von der Art und Weise der Luftführung über der Flammenzone ab; sie beträgt normalerweise 10 -25 %.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik ist sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken einsetzbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die erreichbaren NO_x-Reduktionen scheinen von Rückgewinnungskessel zu Rückgewinnungskessel unterschiedlich zu sein. Aus einigen schwedischen Sulfatzellstofffabriken sind folgende Erfahrungen berichtet worden:
Fallbeispiel 1: Einbau und Anwendung der Technik der Luftzuführung bei einem bestehenden Laugen-Rückgewinnungskessel und Betrieb seit 1990: Es wird eine NO_x-Reduktion von 30 % erreicht.
Fallbeispiel 2: Einbau der Technik der Luftzuführung über der Flammenzone bei einem bestehenden Laugen-Rückgewinnungskessel. Das neue Luftzuführungssystem ist wegen der Temperaturerhöhung im Überhitzer nicht mehr im Einsatz.
Fallbeispiel 3: Einbau der Technik der Luftzuführung über der Flammenzone bei einem bestehenden Laugen-Rückgewinnungskessel im Jahre 1995: Es werden 20 % NO_x–Reduktion erreicht und die Technik ist seit Anfang 1997 in Betrieb.
Fallbeispiel 4: Es handelt sich um den ersten Rückgewinnungskessel aus dem Jahre 1996, bei dem die Technik der Luftzuführung über der Flammenzone in Betrieb ist: Die Reduktion der NO_x-Emissionen in diesem Kessel sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Verbrennungsluftverteilung im Rückgewinnungskessel	Normal-betrieb	Technik der Luftzuführung über der Flammenzone Betriebsversuche im Mai 1998	
Primärluft [%]	45	35	40
Sekundärluft [%]	45	45	40
Tertiärluft [%]	10	10	5 - 15
Quartiärluft [%]⇒ Luftzuführung über der Flammenzone	0	10	5 - 15
Beobachtete Effekte bezügl.			
NO_x [mg/Nm^3]	135	80	90
SO_2 [mg/Nm^3]	20	35	< 20

Tabelle 2.37: Reduktion der NO_x -Emissionen durch den Einsatz der Technik der Luftzuführung über der Flammenzone in einem neuen Laugen-Rückgewinnungskessel

Verlagerungseffekte: Es treten keine Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Die mit dem Einsatz dieser Technik verbundene Reduktion der NO_x–Emissionen ist schwankend und hängt von Art und Konzeption des Kessels sowie von der Art und Weise ihrer Anwendung ab. Sie muss an die spezifischen Verhältnisse der Rückgewinnungskessel angepasst werden. Die Anwendung dieser Technik, die in anderen Verbrennungsprozessen weit verbreitet ist, kann bei schlechter Prozesskontrolle zu einer Erhöhung der Emissionen an Kohlenmonoxid und unverbranntem Kohlenstoff führen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Sulfatzellstofffabrik mit einer Produktionskapazität von 250000 und 500000 t/a gebleichtem Sulfatzellstoff betragen die Investitionskosten für die Änderung der Luftzuführung bei einem Laugen-Rückgewinnungskessel 1,7 Mio. EUR bzw. 2,3 Mio. EUR. Die Investitionskosten beinhalten die Luftzuführungen zum Rückgewinnungskessel, Messtechnik, Rohrleitungen und Gebläse. Bei den Betriebskosten ergeben sich keine Änderungen.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: NO_x hat ein Versäuerungspotenzial und kann die Eutrophierung von Gewässern erhöhen. In einigen empfindlichen Seengebieten in Europa wird deshalb eine weitere Reduktion der NO_x-Emissionen mit Sekundärmaßnahmen für erforderlich erachtet.

Referenzanlagen: Wenige Fabriken in Schweden

Literatur:
[SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.23 Einbau einer verbesserten Kalkwäsche bei der Kaustifizierung

Beschreibung der Technik: Kalk (CaO) wird für die Kaustifizierung der Grünlauge (Na_2S + Na_2CO_3) zu Weißlauge (Na_2S + NaOH) eingesetzt. Dabei fällt Kalkschlamm ($CaCO_3$) an. Normalerweise wird der Kalkschlamm zum Kalkofen rückgeführt, in dem der Kalkschlamm verbrannt und neuer Kalk erzeugt wird. Bevor der Kalkschlamm dem Ofen zugeführt wird, muss er zur Entfernung von restlichem Natriumhydroxid, Natriumsulfid und anderen Natriumsalzen gewaschen und anschließend entwässert werden.

Die zur Kalkschlammwäsche normalerweise eingesetzten Einrichtungen sind entweder Absetzbecken oder Filterpressen. In der Vergangenheit waren zweistufige Schlammwäscher weit verbreitet, aber in jüngster Zeit hat sich die einstufige Schlammwäsche in Standard-Absetzbecken mit Speicherung oder in einem Druckfilter durchgesetzt.

Die verbesserte Schlammwäsche in modernen Filtern kann den Restgehalt an Weißlauge im Schlamm von 100 mg/l auf 0 - 30 mg/l reduzieren. Der Trockensubstanzgehalt des Kalkschlammes kann auch von 50 - 60 % auf 70 - 80 % erhöht werden. Durch das effizientere Waschen wird die Konzentration an Sulfid im Kalkschlamm

reduziert und dadurch die Bildung von Schwefelwasserstoff im Kalkofen im Laufe des Brennprozesses vermindert.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik ist sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken anwendbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Umweltnutzen besteht in der möglichen Reduktion von H_2S (TRS) im Kalkofen, die hauptsächlich von der Verfügbarkeit von Natrium im Kalk und vom Schwefelgehalt aller dem Kalkofen zugeführten Brennstoffe abhängt.
Mit dem niedrigsten Schwefel-Input kann eine kleine Reduktion erreicht werden. Bei höherem Schwefel-Input kann es sein, dass dieser Effekt nicht auftritt oder sich sogar nachteilige Auswirkungen ergeben.

Verlagerungseffekte: Sofern der Kalkschlamm nach der Wäsche einen zu niedrigen Natriumgehalt aufweist, kann dies zur Erhöhung der TRS-Emissionen und auch der Staubemissionen aus dem Kalkofen führen.

Betriebserfahrungen: Die verbesserte Kalkschlammwäsche wird seit über 10 Jahren in europäischen Zellstoffwerken praktiziert. Die Überwachung des Restnatriumgehaltes (NaOH) ist erforderlich, um das Zusetzen des Kalkofens zu vermeiden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten betragen üblicherweise 1 - 1,5 Mio. EUR.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion von H_2S (TRS) und von Gerüchen aus den Rauchgasen des Kalkofens ist der wichtigste Grund für die Einführung dieser Technik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur

[SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.3.24 Elektrofilter für die Reduktion von Staubemissionen beim Rindenkessel und Kalkofen

Beschreibung der Technik:
Rindenkessel
Holzreste (aus Rinden und Holzabfall) werden in großem Ausmaß zur Dampferzeugung verbrannt. Der Dampf aus den Kesseln wird oft zur Stromerzeugung mittels Gegendruckturbinen herangezogen. Diese Wärme- und Stromerzeugung ist zur Reduzierung der Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen erforderlich. Durch die Verbrennung fallen weniger Abfälle zur Entsorgung an. Heutzutage erfordert eine neue Verbrennungsanlage immer ein ausgeklügeltes Verbrennungssystem in Verbindung mit einem modernen Rauchgasreinigungssystem.

Die Hauptemission aus mit Abfallholz befeuerten Kesseln stellt Staub dar. Der Staub besteht aus Asche und einem Rest unverbrannten Materials. Normalerweise ist ein Rindenkessel mit einem Zyklon zur Staubabscheidung ausgestattet (85 % Abscheideleistung). Heute werden mehr und mehr Elektrofilter mit einer Reinigungsleistung über 95 % eingesetzt.

Kalkofen
Durch eine geeignete Konzeption des Kalkofens wird die Staubbildung minimiert. Der Verdampfungsmechanismus für Natrium hängt mit der Natriummenge im Ofen und der hohen Temperatur im Calcinierbereich zusammen. Das Ausmaß der Verdampfung kann bis zu einem bestimmten Niveau durch genaue Einstellung der Flammenstruktur und –position gesteuert werden.

Der Einsatz von unterschiedlichen Brennstoffen beeinflusst die Staubemission. Eine Ölflamme am heißen Ende des Ofens führt wegen ihrer guten Strahlungseigenschaften zu einer hohen Natriumverdampfung aus dem Kalk und es entsteht Natriumsulfat mit Schwefeldioxid. Zur weitgehenden Minimierung von Staub aus CaO, Na_2SO_4

und Na_2CO_3 kann ein Elektrofilter installiert werden. Der Elektrofilter hat bessere Abscheideeigenschaften als ein Wäscher. Sofern auch Wascheinrichtungen vorhanden sind, sollte der Elektrofilter vor dem Wäscher angeordnet werden. Der Betrieb des Elektrofilters erfordert regelmäßige Wartung und Messungen. Eine Überfrachtung oder ungleichmäßige Beladung kann die Verstopfung von Kammern im Elektrofilter verursachen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann in neuen und bestehenden Sulfatzellstofffabriken eingesetzt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Bei Einsatz von Zyklonen liegen die wichtigsten erreichten Emissionswerte bei Rindenkesseln für die Reduktion von Staub, ausgehend von einem Niveau von 250 - 500 mg/Nm^3, bei 100 - 150 mg/Nm^3. Mit einem Elektrofilter für das Rauchgas aus einem Rindenkessel werden Reinigungsleistungen für den Staub von über 95 % erreicht, was mit Staubemissionen von 20 - 40 mg/Nm^3 korreliert (bezogen auf 10 % O_2 und Trockengas).

Die Staubemissionen aus Kalköfen betragen nach dem Elektrofilter 20 - 100 mg/Nm^3.

Der Hauptanteil des Staubes im Rauchgas eines Kalkofens besteht aus CaO. Es entweicht hauptsächlich aus dem Zugabebereich des Ofens. Die Staubmenge vom heißen Ende des Ofens ist beträchtlich niedriger. Die Hauptkomponenten des über den Schornstein emittierten Staubs sind feine Na_2SO_4- und Na_2CO_3 –Partikel, da die CaO-Partikel durch die Rauchgasreinigung wirksamer abgeschieden werden.

Verlagerungseffekte: Es treten keine bedeutenden Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Diese Technik kommt in einer Reihe von Zellstofffabriken zum Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: In einer Zellstofffabrik mit einer Produktion von 1500 t/d Sulfatzellstoff betragen die Investitionskosten für einen Elektrofilter für den Rindenkessel 3 - 4 Mio. EUR und für den Kalkofen 5 - 6 Mio. EUR. Die Betriebskosten erhöhen sich in beiden Fällen um weniger als 0,3 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der Staubemissionen in die Luft ist der Hauptgrund für die Einführung dieser Technik.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997a], [J. Pöyry, 1997b], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

2.4 Beste verfügbare Techniken

2.4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seiner Inhalte wird der Leser auf das Vorwort verwiesen, das für alle BREFs einheitlich ist, insbesondere auf den fünften Abschnitt dieses Vorworts "Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken mit den damit unmittelbar verbundenen Emissions- und Verbrauchswerten (oder -bereichen) sind das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, das folgende Stufen beinhaltet:

- Identifizierung der wesentlichen Umweltaspekte/-probleme; für integrierte Sulfatzellstoff- und Papierfabriken haben die größte Bedeutung der Wassereinsatz, die Abwassereinleitung (CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, N, P, AOX), der Energieverbrauch (Dampf und Strom), feste Abfälle wie Rejekte, Schlamm und Asche, Abgasemissionen aus der Energieerzeugung (SO_2, NO_x, CO_2, Staub), Lärm, Abwärme im Abwasser und manchmal Gerüche; die drei zuletzt genannten Punkte stehen für lokale Auswirkungen;
- Bewertung der Techniken, die zur Lösung dieser Probleme am geeignetsten sind;
- Identifizierung der besten Umweltleistungen auf Basis der in Europa und weltweit verfügbaren Daten;
- Ermittlung der Bedingungen, unter denen diese Umweltleistungen erreicht werden können. Diese beinhalten u.a. Kostenaspekte, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien und die wichtigsten Gründe für die Einführung dieser Techniken;
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) mit den damit verbundenen erreichbaren Emissions- und/oder Verbrauchswerten, die für diesen Sektor grundsätzlich gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der IVU-Richtlinie gelten.

Bei jedem dieser Schritte sowie bei der Darstellung der Informationen hat die Beurteilung durch Experten die entscheidende Rolle gespielt.

Vor diesem Hintergrund werden die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken und so weit als möglich die damit erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte als für die gesamte Branche geeignet angesehen. In vielen Fällen geben sie die derzeitige Leistungsfähigkeit und Betriebsweise von Anlagen dieser Branche wieder. Die angegebenen Emissions- und Verbrauchswerte „in Verbindung mit den besten verfügbaren Techniken“ sind so zu verstehen, dass sie für die Branche als solche geeignet sind und Umweltleistungen widerspiegeln, die das Ergebnis der Anwendung der Techniken in diesem Sektor sind. Dabei sind die Kostenaspekte und Umweltvorteile entsprechend der "BVT"-Definition abzuwägen. Die erreichbaren Werte sind jedoch keine Grenzwerte, weder für Emissionen noch für den Verbrauch, und sollten nicht als solche verstanden werden. Es mag Fälle geben, in denen technisch bessere Emissions- und Verbrauchswerte erreicht werden können, die aber wegen der damit verbundenen Kosten oder durch Betrachtung von Verlagerungseffekten in andere Umweltmedien nicht als allgemein gültig für den Sektor angesehen werden. Solche Werte können jedoch in Fällen, bei denen besondere Gründe vorliegen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die Emissions- und Verbrauchswerte müssen im Zusammenhang mit den BVT in Beziehung mit bestimmten Bezugsbedingungen (z.B. Mittelungszeiträume) gesetzt werden.

Das vorstehend beschriebene Konzept “Niveaus im Zusammenhang mit BVT” ist von dem sonst in diesem Dokument verwendeten Begriff “erreichbares Niveau” zu unterscheiden. In Fällen, in denen Werte in Verbindung mit einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken als "erreichbar" bezeichnet werden, sind sie als Werte zu verstehen, deren Erreichen über längere Zeit in einer sorgfältig ausgelegten und gewarteten sowie in einer gut betriebenen Anlage oder Prozess erwartet werden kann.

Soweit verfügbar sind die Angaben zu den Kosten zusammen mit den in Kapitel 4 beschriebenen Techniken angegeben. Sie geben eine ungefähre Vorstellung zur Größenordnung der betreffenden Kosten. Allerdings hängen die tatsächlichen Kosten einer Technik stark von den speziellen Verhältnissen eines Falles ab, z.B. von Gebühren, Steuern und den technischen Gegebenheiten einer Anlage. Es ist im Rahmen dieses Dokuments nicht möglich, alle diese standortspezifischen Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Sofern Angaben zu den Kosten

nicht verfügbar sind, werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit von Techniken auf der Grundlage von Erfahrungen aus bestehenden Anlagen gezogen.

Die in diesem Kapitel grundsätzlich als "BVT" angesehenen Techniken sind der Maßstab, mit dem die Umweltleistung einer laufenden bestehenden Anlage bzw. ein Antrag für eine neue Anlage beurteilt werden soll. Auf diese Weise dienen sie der Festlegung von geeigneten Bedingungen auf der Grundlage der BVT und der Einführung allgemein bindender Vorschriften nach Artikel 9 Absatz 8. Es wird angestrebt, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie die hier dargelegten generellen BVT erreichen oder sogar bessere Umweltleistungen aufweisen. Es wird auch angestrebt, dass bestehende Anlagen sich entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken im jeweiligen Fall mit der Zeit an die generellen BVT annähern können oder über diese hinausgehen.

Gleichwohl die BREFs selbst keine rechtlich verbindlichen Standards festlegen, bieten sie Informationen als Wegweisung für Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit hinsichtlich erreichbarer Emissions- und Verbrauchswerte für bestimmte Techniken. Bei der Festlegung von geeigneten Emissionsgrenzwerten im Einzelfall wird es notwendig sein, die Zielsetzungen der IVU-Richtlinie sowie die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die Herstellung von Sulfatzellstoff erfolgt nicht in einem einzelnen Prozess, sondern in einer Abfolge von Grundoperationen, die oft miteinander verbunden sind und voneinander abhängen. Deshalb handelt es sich bei den BVT für Sulfatzellstoff- und Papierfabriken immer um eine geeignete Kombination von Techniken. Die Prioritätensetzung und die Auswahl von Techniken oder einer Kombination von Techniken hängen von örtlichen Gegebenheiten ab.

Die nachfolgend aufgeführten Techniken sind, soweit nichts anderes vermerkt ist, bei neuen und bestehenden Anlagen anwendbar. Bei Sulfatzellstoff- und Papierfabriken spielt der Umstand weniger eine Rolle, ob es sich um eine neue oder bestehende Fabrik handelt. Zellstoff- und Papierfabriken sind mehr durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Maschinentechnik umgebaut und weniger als Ganzes ersetzt wird. Die modulare Umrüstung und Entwicklung der Anlagen bedeutet, dass jeder Standort ein einzigartiges Ergebnis der örtlichen Verhältnisse und der Geschichte darstellt. Auf der anderen Seite liegt eine Verknüpfung von Grundoperationen vor, die allen Ländern gemein ist.

Die Kriterien, die bei der Festlegung der BVT im Einzelfall zu betrachten sind, betreffen die spezifischen Kosten, die für kleine Fabriken relativ höher sind (Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von der Anlagen-/Betriebsgröße). Andere in Betracht zu ziehende Faktoren sind die begrenzte Verfügbarkeit von Platz, was für einige ältere Fabriken zutreffen könnte, oder ungeeignete Werkstoffe oder Konzeption von älteren Einrichtungen, die ein höheres Maß an Kreislaufschließung nicht erlauben. Eine höhere Wasserkreislaufschließung geht gewöhnlich mit einem komplexeren System einher, dass überwacht, kontrolliert und verstanden werden muss. In kleineren Fabriken kann manchmal nicht das notwendige Wissen zum effizientesten Betrieb und Überwachung komplexerer Verfahrenslösungen verfügbar sein.

2.4.2 BVT für Sulfatzellstoff- und Papierfabriken

Nachstehend werden für integrierte und nichtintegrierte Sulfatzellstofffabriken die als BVT angesehenen Techniken und Technikkombinationen dargestellt. Die folgende Liste an BVT ist nicht als erschöpfend zu verstehen und jede andere Technik oder Technikkombination, mit der die gleiche (oder bessere) Umweltleistung erreichbar ist, kann ebenso in Betracht gezogen werden; solche Techniken können sich in der Entwicklung befinden oder an der Schwelle der Praxisreife stehen oder bereits verfügbar sein, ohne in diesem Dokument beschrieben zu sein. Für integrierte Sulfatzellstoff- und Papierfabriken wird auf Abschnitt 6.4 verwiesen, wo zu BVT für die Papierherstellung weitere Details zu finden sind. Soweit nichts anderes genannt ist, handelt es es sich bei den angegebenen Werten um Jahresmittelwerte.

Allgemeine Maßnahmen

1. Training, Ausbildung und Motivation der Belegschaft und der Maschinenführer. Zellstoff- und Papierfabriken werden von Menschen betrieben. Deshalb kann das Training der Belegschaft ein sehr kostengünstiger Weg zur Reduzierung der Ableitung von gefährlichen Stoffen sein
2. Optimierung der Prozesskontrolle. Zur gleichzeitigen Reduzierung verschiedener Schadstoffe und zur Gewährleistung niedriger Emissionen ist eine verbesserte Prozesskontrolle erforderlich.
3. Zur Aufrechterhaltung der Effizienz der technischen Anlagen in Zellstofffabriken und den damit verbundenen Anlagen zur Emissionsminderung auf hohem Niveau muss ihre ausreichende Wartung gewährleistet sein.
4. Ein Umweltmanagementsystem, dass klar die Verantwortlichkeiten für die umweltrelevanten Aspekte einer Fabrik definiert. Es erhöht das Bewusstsein und beinhaltet Ziele und Maßnahmen, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Checklisten und andere relevante Dokumentationen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasseremissionen

1. Trockenentrindung des Holzes
2. Modifiziertes Kochen entweder im diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Verfahren
3. Hocheffizientes Waschen des ungewaschenen Zellstoffs und Sortieren des ungewaschenen Zellstoffs im geschlossenen System
4. Delignifizierung mit Sauerstoff
5. Abschließende ECF- oder TCF-Bleiche und Rückführung von einigen, hauptsächlich alkalischen, Prozesswasserströmen in der Bleichanlage
6. Reinigung und Wiederverwendung von Kondensaten
7. Wirksame Überwachung von Leckagen, Behältnissen und der Prozesswasserrückführung
8. Ausreichende Schwarzlaugen-Eindampfanlage und ausreichender Laugen-Rückgewinnungs-kessel, um die durch die Erfassung von Leckagen, Bleichabwässern etc. zusätzlich anfallenden Flüssigkeitsmengen und Feststofffrachten zu bewältigen
9. Erfassung und Wiederverwendung von sauberen Kühlwässern
10. Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern für die Speicherung von unkontrolliert ausgetretenen Koch- und zurückgewonnenen Flüssigkeiten und belasteten Kondensaten, um plötzliche Frachtspitzen und gelegentliche Betriebsstörungen in der externen Abwasserbehandlungsanlage zu verhindern
11. Primäre Abwasserbehandlung
12. Externe biologische Abwasserbehandlung

Die Effizienz jeder dieser Techniken variiert durch Auslegung und Betriebspraxis in den verschiedenen Fabriken beträchtlich. Um eine Technik als BVT-Maßnahme ansehen zu können, muss sie wohlüberlegt konzipiert sein und betrieben werden. Eine Kombination der Techniken nach Ziffer 1 bis 10 einschließlich der allgemeinen Maßnahmen führt zu dem Emissionsbereich, wie er in Tabelle 2.38 dargestellt ist. Die angegebenen Beispiele repräsentieren gut betriebene Fabriken in Europa, in denen ein Bündel dieser Techniken in sinnvoller Weise eingeführt wurde. Alle Fabriken haben eine primäre und die meisten von ihnen auch eine sekundäre (biologische) Abwasserbehandlung. Allerdings beziehen sich alle in Tabelle 2.38 angegebenen Werte nur auf die Primärabwasserbehandlung. Die Wirkung der biologischen Behandlung der Abwässer aus Zellstofffabriken wird weiter unten dargestellt.

Fabriken	CSB [kg/t]	BSB_{5} oder 7 [kg/t]	Abf. St. [kg/t]	AOX [kg/t]	Ges-N [kg/t]	Ges-P [kg/t]	Menge [m3/t]	Produktion 97 [t/a]	Anmerkungen
ENCE, Huelva Fabrik, Spanien	28	n/v	5,2	0,17	n/v	n/v	41,2	310000	Gebleichter Laubholz-ECF-Marktzellstoff (Eukalyptus)
Soedra Cell, Varö Fabrik, Schweden	36	n/v	n/v	0	0,3	0,04	35	305000	Gebleicher Nadelholz-TCF-Marktzellstoff
Soedra Cell, Mönsteras Fabrik, S.	31	14	n/v	0	n/a	n/v	45	507000	Gebleichter Nadelholz/ Laubholz-TCF-Marktzellst.
NSI, Tofte Industr. Norwegen	35		2,3	0,19	n/v	0,07 - 0,1	30	340000	Gebleichter ECF-Markt-zellstoff
Pöls AG, Österreich [6]	38	13	n/v	0,5	n/v	n/v	46 [7]	280000	Gebleicher Nadelholz-ECF-Marktzellstoff
Stora, Celbi Portugal	17,3	4,9	2,7	0,16	0,15	0,11	52	270000	Gebleichter Laubholz-ECF-Marktzellstoff (Eukalyptus)
Modo Alizay, Frankreich (ganzer Standort)	42,3	11	12,3	n/v	n/v	n/v	61	244500 Zellst. 220000 Papier	Integrierte Zellstoff- und Papierfabrik zur Herstellung von gebleichtem Zellstoff
Enocell, Finnland [4]	54	17	n/v	0,67	0,19	0,04	38	586000	Gebleichter Nadelholz/ Laubholz (Birke)-ECF- und TCF-Marktzellstoff
Metsä-Rauma, Finnland [2]	28	11	n/v	n/v	n/v	0,021	10	500000	Gebleicher Nadelholz-TCF-Marktzellstoff
Modo, Husum Fabrik, Schweden [3]	37	19	n/v	0,30	0,19	0,060	77	677000 Zellst. 485000 Papier	Integrierte Zellstoff- und Papierfabrik zur Herstellung von gebleichtem ECF-Zellst.
SCA, Östrand, Schweden [3]	38	15	n/v	-	0,40	0,060	39	n/v	Gebleicher Nadelholz-TCF-Marktzellstoff
Soedra Cell, Mörrum Fabrik, Schw.	41	17	n/v	0,25	0,30	0,040	73	376000	Gebleichter Nadelholz-TCF/ECF-Marktzellstoff
AssiDomän Kraftliner Fabrik, Schweden [5]	13	6,4	n/v	-	0,06	0,008	24	562000	Ungebleichter Sulfatzell-stoff + Kraftliner, 19% Sekundärfaserstoff
SCA, Munksund Fabrik, Schweden [5]	16	7,9	3,3	-	0,07	0,012	41	338000	Ungebleichter Sulfatzell-stoff + Kraftliner, 33% Sekundärfaserstoff
SCA, Obbola Fabrik, Schweden [5]	19	9	3,5	-	0,15	0,013	12	363000	Ungebleichter Sulfatzell-stoff + Kraftliner, 41% Sekundärfaserstoff
Smurfit CdP Facture Fabrik, Frankreich [5]	17,3	7,7	1,6	-	0,25	0,009	28,4	350000 - 400000	Ungebleichter Sulfatzell-stoff + Kraftliner, 20% Sekundärfaserstoff, 10% zugekaufter Zellstoff
Mill 5, Portugal [5]	18	6	2,9	n/v	n/v	n/v	25	270000	Ungebleichter Sulfatzell-stoff + Kraftliner

n/v = Daten nicht verfügbar

Anmerkungen:
1) Mittelwerte nach primärer Abwasserbehandlung für die zweite Jahreshälfte 1998
2) Fabrik, die 1996 auf der grünen Wiese errichtet wurde; die Angaben stammen aus "Fifth Global Conference on Paper and the Environment, Session 3, 1997"
3) CSB-Angaben stammen aus 1998; die restlichen sind aus 1997
4) Angaben für 1998
5) Je Tonne Liner-Produktion
6) Werte geben das Niveau vor der Sekundärbehandlung an. Die Fabriken betreiben eine biologische Behandlungsanlage.
7) Die Angabe für die Abwassermenge beinhaltet nicht die Papierherstellung. Der Beitrag einer kleinen Papierproduktion ist für die anderen Parameter vernachlässigbar.

Tabelle 2.38: Beispiele für erreichte Werte im Abwasser nach nur primärer Behandlung von einigen bestehenden europäischen Zellstofffabriken (Bezugsjahr: 1997). Die meisten dieser Fabriken betreiben auch eine sekundäre, biologische Abwasserbehandlung (siehe Tabelle 2.40).
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Sie enthält Fabriken aus allen europäischen Ländern mit Zellstoffproduktion. Weitere Beispiele für Fabriken mit Werten nach biologischer Behandlung enthält nachstehende Tabelle 2.40. Die Daten stammen aus Umweltberichten von Unternehmen, persönlichen Mitteilungen und dem SEPA Report 4924 "The Forest Industry's emissions to water and air, amounts of waste and energy consumption, 1997" („Die Abwasser- und Abgasemissionen, die Abfallmengen und der Energieverbrauch der Holzindustrie“ - nur in Schwedisch verfügbar). Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes. In Schweden und Finnland werden die BSB-Werte als BSB7-Werte angegeben.

In Abhängigkeit von der eingesetzten Holzart, den spezifischen angewandten prozess-integrierten Maßnahmen und den technischen Gegebenheiten einer Fabrik können grundsätzlich die nachfolgenden Abwasseremissionswerte durch Einsatz der BVT **vor** der biologischen Behandlung erreicht werden:

Parameter	Einheiten	Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff[1]	Herstellung von ungebleichtem Sulfatstellstoff in einer integrierten Fabrik[3]
CSB	kg/t	30 [2] - 45	15 - 20
BSB	kg/t	13 [2] - 19	6 - 9
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	2 – 4	2 - 4
AOX	kg/t	(-) – 0,4	*
Ges-P	kg/t	0,04 – 0,06 [4]	0,01 - 0,02
Ges-N	kg/t	0,3 – 0,4	0,1 – 0,2
Spezifischer Abwasseranfall	m^3/t	30-50	15 - 25

Anmerkungen:
*Dieser Parameter ist hier nicht relevant. Niedrige AOX-Emissionen können durch das Wiederauflösen von gekauftem gebleichtem Zellstoff auftreten.
1) Bezug des Emissionsniveaus auf `Tonne Zellstoff' für nicht-integrierte und integrierte Sulfatzellstofffabriken
2) Niedrigere Werte sind erreichbar, wenn nur Laubholz zur Zellstoffherstellung eingesetzt wird
3) Bei Sulfatzellstofffabriken zur Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff handelt es sich immer um integrierte Fabriken. Sie stellen Kraftliner, ungebleichte Kartonqualitäten, Sackkraft- und anderes Kraftpapier her. Viele setzen Recyclingfasern und eingekauften gebleichten Zellstoff ein. Gewöhnlich sind höhere Emissionen in Fabriken anzutreffen, die einen höheren Anteil an Recyclingfasern als Rohstoff einsetzen. Die Angaben beziehen sich auf je produzierte Tonne Liner/Papier/Karton.
4) Wegen des höheren Phosphorgehaltes im Faserholz können Eukalyptus-Zellstofffabriken diese Werte nicht erreichen. Derzeitige Angaben für die P-Emissionen mit dem Abwasser schwanken zwischen 0,037 – 0,23 kg P/t Zellstoff. Der Mittelwert der berichteten Angaben liegt bei 0,11 kg P/t Zellstoff

Tabelle 2.39: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach primärer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken
Die Werte sind für Zellstofffabriken angegeben, die gebleichten und ungebleichten Sulfatzellstoff herstellen

Soweit es den Aufschlussbereich anbelangt, wird davon ausgegangen, dass die mit der praktischen Umsetzung der BVT erreichbaren Emissionsniveaus für nichtintegrierte Sulfatzellstofffabriken im gleichen Bereich wie für integrierte Fabriken liegen. Für integrierte Fabriken sind neben den die Zellstoffherstellung betreffenden Maßnahmen (Kapitel 2) zusätzlich die im entsprechenden Kapitel zur Papierherstellung (Kapitel 6) beschriebenen Maßnahmen in Betracht zu ziehen.
Allerdings gibt es einige in Betracht zu ziehende Techniken, die ausschließlich integrierte Zellstofffabriken betreffen wie zum Beispiel:

- Wirksame Trennung der Wassersysteme der Zellstofffabrik von denen der Papierfabrik
- Rückführung des Verdünnungswassers für den Aufschluss von der Papier- zur Zellstofffabrik
  Sofern ein Teil des produzierten Zellstoffs am freien Markt verkauft wird oder zwei oder mehr Papiermaschinen vorhanden sind, auf denen verschiedene Papiersorten hergestellt werden, deren Prozesswasser inkompatibel ist, oder gefärbte Papiere hergestellt werden, ist die Kreislaufführung von Prozesswasser von der Papiermaschine zur Zellstofffabrik nicht möglich.

Externe biologische Abwasserbehandlung
Zusätzlich zu den prozessintegrierten Maßnahmen (Punkte 1 bis 10) und zur primären Abwasserbehandlung (Punkt 11) wird die biologische Abwasserbehandlung für Sulfatzellstofffabriken (Punkt 12) als BVT angesehen. Belebtschlammanlagen, die aus Ausgleichsbecken, Belebungsbecken, sekundärem Absetzbecken und Schlammbehandlung bestehen, weisen hervorragende Reinigungsleistungen bei der Behandlung der Abwässer aus Zellstofffabriken auf. Niedrig belastete Belebtschlammanlagen mit einer Schlammbelastung von unter 0,15 kg BSB_5/(kg TS*d) und üblichen Aufenthaltszeiten im Belebungsbecken von etwa einem Tag (bis zu zwei Tagen) werden als BVT angesehen. Sie können hohe Reinigungsleistungen und stabile Betriebsbedingungen erreichen.
Es ist anzumerken, dass jedwede andere Behandlung mit vergleichbaren Emissionsniveaus und Kosten auch als BVT angesehen werden kann.

Tabelle 2.40 gibt erreichte Emissionsniveaus einiger Zellstofffabriken wieder, die ein Bündel von prozessintegrierten BVT umgesetzt haben, jedoch nicht notwendigerweise alle und nicht notwendigerweise in vollem Umfang, aber zusammen mit biologischer Abwasserbehandlung. Die in Tabelle 2.40 in Klammern angegebenen Werte stellen Konzentrationsangaben in [mg/l] dar.

Zellstofffabrik	**Berichtete erreichbare Emissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Jahresmittelwerte)**							**Art der Behandlung**
	CSB [kg/t]	**$BSB_{5\ od.\ 7}$ [kg/t]**	**AOX [kg/t]**	**Abf. St. [kg/t]**	**Ges-P [kg/t]**	**Ges-N [kg/t]**	**Menge [3)] [m^3/t]**	**z.B. normal-/ niedrig-belast.**
Soedra Cell, Mönsteras, Schweden[1]	13 (300)	0,9 (20)	(-)	1,7 (40)	0,03 (0,7)	0,31 (7)	45	Belebtschlamm mit langer Ver-weildauer (>2d)
Pöls AG, Österreich	17,6 (400)	0,64 (15)	0,30 (6,6)	1,45 (30)	0,07 (1,5)	0,06 (1,5)	45,8 [6]	Belebtschlamm mit 14 h Ver-weildauer
Modo Alizay, Frankreich (gesa. Standort) [4]	11,1 (180)	0,6 (10)	0,1 (1,6)	2,24 (37)	0,08 (1,3)	0,38 (6,2)	61	Belebtschlamm
Enocell, Finnland	12 (300)	0,2 (5)	0,14 (5)	0,3 (8)	0,004 (0,1)	0,08 (2)	39	Belebtschlamm mit 24 h Ver-weildauer + Belüftungsteich
MB Kaskinen, Finnland	14 (300)	0,3 (7)	0,07 (1,4)	1,0 (20)	0,02 (0,4)	0,15 (3)	49	Belebtschlamm
Sunila, Finnland	22 (160)	1,4 (10)	0,14 (0,2)	2,1 (15)	0,026 (0,2)	0,21 (6)	70	Belebtschlamm
MB Äänekoski, Finnland	24 (750)	0,6 (5)	0,38 (11,9)	1,9 (60)	0,012 (0,4)	0,17 (5)	32	Belebtschlamm
UPM Kymi, Finn-land, integriert [5]	23 (360)	2,7 (40)	0,22 (3,5)	1,1 (20)	0,02 (0,3)	0,19 (3)	63	Belebtschlamm
Metsä-Rauma, errichtet 1996, Finnland [2)]	4 (270)	0,4 (30)	(-)	0,7 (45)	0,015 (1)	0,14 (10)	15	Belebtschlamm
Alberta-Pacific, Alberta, Kanada	6,9 (130)	0,2 (4)	0,05 (0,8)	1,66 (30)	n/v	n/v	50 - 60	Belebtschlamm mit 40 h Ver-weildauer
Bäckhammars Fabrik, Schweden, ungebleicht. Sulfat-zellst. + Kraftpap.	7 (80)	1,5 (20)	-	0,9 (10)	0,007 (0,1)	0,47 (5)	85	Biologische Behandlung + chemische Fällung

n/v = Daten nicht verfügbar
Anmerkungen:
1) Mittelwerte für die zweite Jahreshälfte 1998
2) Vom Unternehmen berechnete Werte. Die Fabrik wurde 1996 auf der grünen Wiese errichtet mit benachbarter Fabrik zur Herstellung von Holzstoff und Papier und hat eine herkömmliche Behandlung.
3) Die Abwassermenge beinhaltet kein Kühlwasser
4) Die Angaben beziehen sich auf eine Tonne Fertigprodukt. Angaben je Tonne bebleichter Sulfatzellstoff würden unterschiedlich sein, z.B. für CSB 13 kg/A, BSB 0,63 kg/A, Abf. St. 2,82 kg/A, Abw. anfall 64 m^3/A; Angaben gelten für 1998
5) Die Angaben beziehen sich auf eine Tonne Fertigprodukt (Feinpapier). Die Angaben für eine Tonne gebleichter Sulfatzellstoff würden betragen: CSB: 28 kg/t; BSB_7: 0,5 kg/t; AOX: 0,33 kg/t; Abf. St.: 0,8 kg/t; ges-P: 0,02 kg/t; ges-N: 0,2 kg/t; Abwasseranfall: 42 m^3/t
Der Wert schließt die Papierproduktion nicht ein. Der Beitrag einer kleinen Papierproduktion ist für die anderen Parameter vernachlässigbar.

Tabelle 2.40: Beispiele von europäischen Zellstofffabriken für erreichte Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: 1997)
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Die Daten stammen aus Umweltberichten, Statistiken aus dem `Finnish Environment Institute` und von persönlichen Mitteilungen. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes. In Schweden und Finnland werden die BSB-Werte als BSB_7-Werte angegeben.

Unter der Annahme einer geeigneten Konzeption und Kapazität der Abwasserbehandlungs-anlage sowie eines geeigneten Betriebes und einer ausreichenden Steuerung durch ausgebildetes Personal sind im Allgemeinen die nachfolgenden Werte **nach** biologischer Behandlung erreichbar. Die Abwasseremissionen sind für integrierte und nichtintegrierte Sulfatzellstofffabriken nicht sehr unterschiedlich, soweit diese Niveaus mit BVT erreicht werden.

Parameter	Einheiten	Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff[1]	Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff + Kraftliner oder Sackpapier[2]
CSB	kg/t	8 – 23	5,0 – 10
BSB	kg/t	0,3 - 1,5	0,2 - 0,7
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	0,6 – 1,5	0,3 - 1,0
AOX	kg/t	(-) - 0,25	-
Ges-P	kg/t	0,01 - 0,03 [3]	0,01 - 0,02
Ges-N	kg/t	0,1 - 0,25 [4]	0,1 - 0,2
Prozessabwasseranfall [5]	m^3/t	30-50	15-25

Anmerkungen:
1) Emissionsniveaus für nichtintegrierte und integrierte Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff
2) Emissionsniveaus für integrierte Fabriken zur Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff und Papier/Liner
3) Wegen des höheren Phosphorgehaltes im Faserholz können einige Eukalyptus-Zellstofffabriken diese Werte nicht erreichen, wenn das P-Gehalt höher als der Bedarf der biologischen Behandlungsanlage ist. Die Emission lässt sich anhand des P-Gehaltes des Holzes ermitteln. Eine P-Zugabe zur Abwasserbehandlungsanlage ist nicht erforderlich.
4) Jegliche Stickstoffeinleitungen, die durch den Einsatz von Komplexbildnern bedingt sind, sind zu den Angaben für ges-N zu addieren.
5) Kühlwasser und anderes unbelastetes Wasser werden getrennt abgeleitet und sind nicht enthalten

Tabelle 2.41: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach biologischer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken
Die Werte sind für Zellstofffabriken angegeben, die gebleichten und ungebleichten Sulfatzellstoff herstellen

Tabelle 2.41 ist im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen zu verstehen:

- **Chemischer Sauerstoffbedarf** (CSB): Die CSB-Eliminationsraten hängen von Art und Menge der behandelten Abwässer (z.B. sind die Kondensate besser abbaubar als Leckagewässer), von der Ausführung und den hydraulischen Verhältnissen der Behandlungsanlage und von richtigen Einstellung der Betriebsparameter ab. In sorgfältig ausgelegten und betriebenen, niedrig belasteten Anlagen sind CSB-Eliminationsraten von 65 – 75 % erreichbar. Allerdings gehen lange Aufenthaltszeiten mit großen Belüftungsbecken und höherem Energieverbrauch für das Pumpen und die Belüftung einher. Um als leistungsfähig beurteilt zu werden, sollten die CSB-Eliminationsraten einer Anlage 55% übersteigen.
  Folglich können Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff im Allgemeinen CSB-Emissionsfaktoren im Bereich von 8 - 23 kg O_2/t Zellstoff erreichen. Die gemessenen CSB-Ablaufkonzentrationen liegen in diesen Fällen im Bereich von 250 - 400 mg O_2/l.
  Die Gründe für weniger leistungsfähige Anlagen liegen meist in der gewählten Konzeption und in zu hoher Belastung. Andererseits werden die leistungsfähigsten Anlagen, die eine CSB-Eliminationsrate um 75% erreichen, auf einem Niveau betrieben, bei dem eine weitere Reduzierung der organischen Stoffe (bestimmt als CSB) mittels biologischer Behandlung sehr begrenzt ist.

- **Biologischer Sauerstoffbedarf** ($BSB_{5 \text{ oder } 7}$): Sofern die Einhaltung des geeigneten C:P:N-Verhältnisses und die ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet sind, wird der BSB von Zellstoffabwässern in sorgfältig ausgelegten Behandlungsanlagen fast vollständig (> 95 %) entfernt. Bei Betriebsstörungen oder in Fällen, bei denen die Betriebsparameter aus dem Ruder laufen, beginnt die BSB-Ablaufkonzentration zu steigen. Dies erfordert die Einstellung der Betriebsparameter und/oder die Untersuchung der Biomasse. Die BSB-Ablaufkonzentration ist Bestandteil der Prozesssteuerung und kann als Indikator für die Leistungsfähigkeit der aktiven Biomasse genutzt werden.
  Mit den BVT erreichte BSB-Ablaufkonzentrationen liegen zwischen 10 und 25 O_2 mg/l. In Abhängigkeit vom Abwasseranfall korrespondiert diese Konzentration mit BSB-Emissionsfaktoren von 0,3 kg O_2/t Zellstoff (bei 10 mg/l und 30 m^3 Abwasser/t Zellstoff) bis 1,3 kg O_2/t Zellstoff (bei 25 mg O_2/l und 50 m^3 Abwasser/t Zellstoff).

- **Abfiltrierbare Stoffe** (Abf. St.): Bei normalen Betriebsverhältnissen ist das Abwasser nach der zweiten Sedimentationsstufe völlig klar und weist einen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Bereich von 20 bis 30 mg/l auf. Dies entspricht Emissionsfaktoren von 0,6 – 1,5 kg Abf. St./t Zellstoff (bei einem Abwasseranfall von 30 - 50 m^3/t Zellstoff). Die Werte hängen von der Oberflächenbeschickung der zweiten Sedimentationsstufe und den Eigenschaften des Belebtschlammes ab.

- **Adsorbierbare organisch gebundene Halogene** (AOX): Da der Bleichprozess in den meisten europäischen Zellstofffabriken in Richtung ECF- oder TCF-Bleiche umgestellt wurde, liegt der Anfall an organischen Chlorverbindungen im Abwasser vor der biologischen Behandlung normalerweise im Bereich von 0 – 0,5 kg Cl/t Zellstoff. Die Abwasserbehandlung in Belebtschlammanlagen führt zu einer AOX-Reduktion von 40 bis 60 %. Fabriken mit ECF-Bleiche erreichen AOX-Emissionsfaktoren von < 0,25 kg Cl/t Zellstoff. Fabriken mit TCF-Bleiche leiten praktisch keine organischen Chlorverbindungen ab (keine Entstehung beim Bleichen).

- **Phosphor und Stickstoff** (ges-P und ges-N): Zur Einhaltung des C:P:N-Verhältnisses, das für das Wachstum des Belebtschlammes von entscheidender Bedeutung ist, müssen für die biologische Behandlung gewöhnlich mineralische Nährstoffe zudosiert werden. Dabei erfüllt die bloße Konzentrierung auf die Zulaufkonzentrationen oder auf die Eliminations-raten für Stickstoff und Phosphor nicht ihren Zweck. Vielmehr ist es notwendig, zwischen den zulaufenden und für den Belebtschlamm verfügbaren N- und P-Verbindungen und den, wenn überhaupt, zuzugebenden Nährstoffen den richtigen Ausgleich zu finden und diesen aufrecht zu erhalten, was eine bestimmte feine Abstimmung der Nährstoffzugabe erfordert. Bei Zellstofffabriken wird dem Abwasser meist kein Phosphor zugegeben, während eine Stickstoffdosierung (meist in Form von Harnstoff) essenziell ist. Soweit es sich um ein sorgfältig optimiertes System handelt, werden im Ablauf Phosphorwerte von 0,2 – 0,5 mg ges-P/l und Stickstoffwerte von 2 - 5 mg ges-N/l erreicht. Die entsprechenden Emissions-faktoren liegen bei 0,01 – 0,03 kg P/t Zellstoff bzw. bei 0,1 – 0,25 kg N/t Zellstoff (bei einem Abwasseranfall von 50 m^3/t Zellstoff). Bei gebleichtem Zellstoff ist der ges-P-Gehalt im Vergleich zum ungebleichten etwas höher, da in der Bleichanlage Phosphor herausgelöst wird.

Um einen stabilen Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage sicherzustellen, kann ein Havariebecken zum Schutz der Biomasse vor toxischen oder heißen konzentrierten Prozessteilströmen sowie ein Pufferbecken zum Fracht- und Mengenausgleich von Vorteil sein.

Maßnahmen für die Reduktion der Abgasemissionen

1. Erfassung und Verbrennung von konzentrierten übelriechenden Gasen aus der Faserstoffherstellung, Kochanlage, Eindampfanlage, dem Kondensatstripper und Kontrolle des entstehenden SO_2. Die stark belasteten Gase können im Rückgewinnungskessel, im Kalkofen oder in einem separaten, mit einem Verfahren mit niedrigen NOx-Emissionen ausgestatteten Ofen verbrannt werden. Die Rauchgase aus letzterem weisen einen hohen Gehalt an SO_2 auf, das in einem Wäscher zurückgewonnen wird.
2. Erfassung und Verbrennung von verdünnten übelriechenden Gasen, z.B. aus der Faserstoffherstellung, verschiedenen Quellen wie Tanks, Hackschnitzelsilos, Auflöser für die Schwarzlaugenschmelze etc. Die schwach übelriechenden Gase können z.B. im Laugen-Rückgewinnungskessel in Mischung mit der Verbrennungsluft oder, in Abhängigkeit von ihrer Menge, in einem Hilfskessel verbrannt werden.
3. Verminderung der TRS-Emissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel durch computergestützte Verbrennungssteuerung, durch CO-Messung und im Falle des Kalkofens durch Regelung des Sauerstoffüberschusses, durch Einsatz von schwefelarmen Brennstoffen sowie durch die Überwachung löslicher Natriumverbindungen, die sich im Kalkschlamm befinden, mit dem der Ofen gespeist wird.
4. Verminderung der SO_2-Emissionen aus den Laugen-Rückgewinnungskesseln durch die Einspeisung von Schwarzlauge mit hohem Feststoffgehalt in den Rückgewinnungskessel und/oder durch Einsatz eines Rauchgaswäschers.
5. Verminderung der NO_x-Emissionen aus den Laugen-Rückgewinnungskesseln und dem Kalkofen durch Regelung der Feuerungsbedingungen, durch Gewährleistung einer guten Durchmischung und Aufteilung der Luft im Kessel sowie zusätzlich durch geeignete Auslegung neuer und nachgerüsteter Anlagen.
6. Verminderung der NO_x-Emissionen aus den Hilfskesseln durch Regelung der Feuerungsbedingungen sowie zusätzlich durch geeignete Auslegung neuer und nachgerüsteter Anlagen.
7. Verminderung der SO_2-Emissionen aus Hilfskesseln durch den Einsatz von Rinde, Gas, schwefelarmem Heizöl und schwefelarmer Kohle bzw. durch die Reinigung des Abgases von Schwefelverbindungen in einem Gaswäscher.
8. Reinigung der Rauchgase aus Rückgewinnungskesseln und Hilfskesseln (in denen andere Biomassebrennstoffe bzw. fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen) sowie aus Kalköfen mit wirksamen elektrostatischen Abscheidern (Elektrofiltern), um die Staubemission zu reduzieren.

Eine Kombination dieser Techniken führt für die wichtigsten Abgasquellen zu Emissionsbereichen, wie sie in Tabelle 2.42 dargestellt sind. Die Fabrikbeispiele repräsentieren europäische Fabriken, die nach Umsetzung eines sinnvollen Bündels von Techniken ein hohes Umweltschutzniveau erreichen. Bei allen Fallbeispielen werden die Abgasemissionen mit modernen Reinigungsanlagen wie Elektrofiltern und Wäschern unter Berücksichtigung der jeweiligen Anwendungsbedingungen gereinigt. Die Emissionen aus Produktionsprozessen umfassen diejenigen aus Rückgewinnungskessel, Kalkofen und anderen Öfen (wie z.B. für die Verbrennung von TRS-Gasen) sowie auch flüchtige Emissionen.

Die Emissionen aus Produktionsprozessen umfassen diejenigen aus Rückgewinnungskessel und flüchtige Emissionen, soweit sie erfasst und im Laugen-Rückgewinnunsgkessel verbrannt werden.

Es ist anzumerken, dass ein direkter Vergleich der Emissionsniveaus zwischen den Ländern aufgrund der Ungewissheit bezüglich der Datenbasis (fehlende einheitliche Analysenmethoden und Berechnungsverfahren für die Ermittlung der Emissionen) schwierig ist.

Berichtete Abgasemissionen aus Sulfatzellstofffabriken (Jahresmittelwerte)

	Emission von gasförmigem Schwefel (SO_2 und TRS) in kg S/t Zellstoff						**Emission von NO_x in kg NO_x/t Zellstoff (angegeben als NO_2)**				
Fabrik	**Rückg. kessel [1]**	**Kalk-ofen [1]**	**Separater Ofen [1], wenn vorhandem**	**Hilfs-kessel [2]**	**Flüchtige Emissi. [3]**	**Gesam. Proz. emiss.**	**Rückge-winnungs-kessel**	**Kalk-ofen**	**Separater Ofen, wenn vorhanden**	**Hilfs-kessel**	**Gesam. Proz. emiss.**
Aspa, Schweden	0,36	0,10	-	k.H.	0,37	**0,83**	1,29	0,20	-	k.H.	**1,49**
Iggesund, Schweden	0,40	0,11	0,14	0,30	0,23	**0,89**	1,50	0,13	-	0,82	**1,63**
Husum, Schweden [4]	0,30	0,01	0,16	0,16	0,33	**0,79**	1,21	0,11	0,07	0,39	**1,50**
Mönsteras, Schwed.	0,11	0,05	-	0,10	0,50	**0,66**	0,95	0,21	-	0,12	**1,16**
Östrand, Schweden	0,06	0,40	-	0,07	0,47	**0,93**	1,36	0,08	-	0,47	**1,44**
Skutskär, Schweden	0,14	0,10	0,09	0,02	0,43	**0,76**	1,26	0,19	-	0,37	**1,45**
Skärblacka, Schw. [4]	0,17	0,05	0,05	0,10	0,03	**0,29**	0,66	0,23	-	0,72	**0,89**
Skoghall, Schweden [4]	0,17	<0,01	0,05	0,49	0,30	**0,52**	1,14	0,15	0,13	0,53	**1,42**
Vallvik, Schweden	0,07	0,29	-	0,19	0,12	**0,48**	1,44	0,22	-	0,28	**1,65**
Varö, Schweden	0,06	0,29	-	0,04	0,49	**0,74**	1,51	0,26	-	0,20	**1,79**
Dynäs, Schweden [4]	0,04	<0,01	0,24	0,22	0,45	**0,74**	1,24	0,22	-	0,52	**1,66**
Frövi, Schweden [4]	0,03	0,01	0,06	0,26	0,21	**0,31**	1,01	0,21	0,29	0,99	**1,51**
Obbola, Schweden [4]	0,11	<0,01	0,03	0,05	≈ 0,3	**0,4**	1,02	0,18	-	0,31	**1,20**
Bäckhammar, Schweden	0,14	0,01	-	0,25	≈ 0,2	**0,4**	1,22	0,04	-	0,37	**1,26**
Huelva, Spanien	0,41	0,67	-	0,17	n/v	**1,08**	0,88	0,06	-	0,31	**0,94**
Pöls AG, Österr.	0,04	<0,01	-	-	0,009 [6]	**0,04**	1,6	0,45	-	-	**2,05**
Stora Celbi, Portug.	0,06	0,02	0,02	0,62	n/v	**0,10**	1,02	0,17	0,19	0,37	**1,38**
Enocell, Finnland [5]	0,011	0,133	0,029	0,015	0,125	**0,30**	1,186	0,171	0,164	0,292	**1,52**
Oulu, Finnland [4]	0,046	0,006	0,292	-	0,050	**0,39**	0,810	0,270	-	-	**1,08**
Ääneskoski, Finnl.	0,380	0,059	-	-	0,095	**0,53**	1,748	0,101	-	-	**1,85**
Kaskinen, Finnland	0,392	0,044	-	-	0,095	**0,53**	1,366	0,160	-	0,611	**1,53**
Sunila, Finnland	0,433	0,061	0,012	0,313	0,298	**0,80**	1,029	0,275	0,042	0,404	**1,35**
Joutseno, Finnland	0,036	0,012	-	-	0,719	**0,77**	1,013	0,168	-	0,261	**1,18**
Wisaforest, Finnl.	0,178	0,030	0,069	0,189	0,082	**0,36**	0,864	0,326	0,403	0,758	**1,59**

n/v = Daten nicht verfügbar; "≈" bedeutet, dass die Zahlen anhand früherer Berichte geschätzt sind; k.H. = die Fabrik hat keinen Hilfskessel

Erklärende Anmerkungen:

1. Bei gasförmigem Schwefel handelt sich hauptsächlich um SO_2. Normalerweise werden nur sehr kleine H_2S-Mengen emittiert (normalerweise unter 10 mg H_2S/Nm^3)
2. Die Emissionen aus Hilfskesseln sind in den Angaben „Gesamte Prozessemissionen“ nicht enthalten
3. Bei den flüchtigen Emissionen handelt es sich hauptsächlich um reduzierte Schwefelverbindungen (TRS). Gewöhnlich wird diese Emission von europäischen Zellstofffabriken nicht regelmäßig gemessen (allerdings werden die TRS-Emissionen in Finnland von jeder Zellstofffabrik gemessen). Die berichteten Angaben beinhalten Abschätzungen dieser Emissionen, die auf den aktuellsten durchgeführten Messungen beruhen.
4. Integrierte Zellstoff- und Papierfabriken
5. Emissionen im Jahre 1998
6. Alle wesentlichen diffusen Emissionen werden umfassend erfasst und sind deshalb vernachlässigbar. Nur bei Wartungsarbeiten oder Betriebsstörungen erfolgen gelegentliche diffuse Emissionen. Die TRS-Emissionen entsprechen den Anteilen an TRS aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel und aus den Kalköfen.

Tabelle 2.42: Beispiele erreichter Abgasemissionsniveaus aus einigen gut betriebenen Zellstofffabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997)

Die gesamten Prozessemissionen beinhalten nicht die Hilfskessel. Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Sie enthält Fabriken aus verschiedenen europäischen Ländern mit Zellstoffproduktion. Die Daten stammen aus Umweltberichten von Unternehmen aus dem Jahre 1997, persönlichen Mitteilungen, dem SEPA Report 4924 "The Forest Industry's emissions to water and air, amounts of waste and energy consumption, 1997" („Die

Abwasser- und Abgasemissionen, die Abfallmengen und der Energieverbrauch der Holzindustrie“ - nur in Schwedisch verfügbar) und aus Statistiken des finnischen Umweltinstituts. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes.

Bei der Festlegung der Emissionsbereiche sollte man die Wechselwirkungen zwischen den Abgasemissionen (SO_2, TRS, NO_x) und dem Rückgewinnungsprozess bedenken und sorgfältig bewerten. In Abhängigkeit von der Art der eingesetzten spezifischen prozessintegrierten Technik und den technischen Gegebenheiten einer Fabrik können mit BVT im Allgemeinen folgende Abgasemissionen aus den Prozessen erreicht werden:

Parameter	Einheit	Fabriken zur Herstellung von gebleichtem und ungebleichtem Sulfatzellstoff
Gesamtstaub	kg/t	0,2 - 0,5
SO_2 als S	kg S/t	0,2 - 0,4
NO_x als NO_2	kg/t	1,0 - 1,5
TRS als S	kg S/t	0,1 - 0,2

Tabelle 2.43: Erreichte Abgasemissionsniveaus aus dem Aufschlussprozess bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken (Emissionen aus Hilfskesseln sind nicht enthalten)
Die prozessbezogenen Emissionen schließen den/die Laugen-Rückgewinnungskessel, Kalköfen, flüchtige Emissionen und separate Öfen, soweit sie mit dem Prozess in Verbindung stehen und überhaupt vorhanden sind (z.B. für die Verbrennung von TRS) ein. Für Fabriken zur Herstellung von gebleichtem und ungebleichtem Sulfatzellstoff werden keine getrennten Werte angegeben, da keine wesentlichen technischen Unterschiede bestehen.

Tabelle 2.43 ist im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen zu verstehen. Soweit Konzentrationswerte für Abgasemissionen angegeben werden, beziehen sich diese als Tagesmittelwerte auf trockenes Abgas bei den Standardbedingungen 273 K, 101.3 kPa. Der Bezugssauerstoffgehalt beträgt für Kalköfen und Laugen-Rückgewinnungskessel 5 %.

Staubemissionen: In Sulfatzellstofffabriken erfolgt die Verminderung der Staubemissionen durch Elektrofilter und manchmal auch in SO_2–Wäschern. Für die Gesamtstaubemissionen aus Rückgewinnungskesseln werden Werte zwischen 30 - 50 mg/Nm^3 bzw. 0,2 – 0,5 kg/t Zellstoff (bei einem spezifischen Abgasvolumenstrom von 7000 - 9000 m^3/t Zellstoff) als BVT angesehen. Im Allgemeinen können diese Werte bei moderneren Rückgewinnungskesseln allein mit Elektrofiltern erreicht werden. Bei alten Rückgewinnungskesseln erfordert das Erreichen dieser Werte den Einsatz von Elektrofiltern und Wäschern. Allerdings kommen Wäscher hauptsächlich für die SO_2-Entfernung zum Einsatz. Bei vielen Fabriken, die keinen Wäscher haben, sind Staubemissionskonzentrationswerte von 100 - 150 mg/m^3 erreichbar.
Mit einem dem Elektrofilter nachgeschalteten SO_2-Wäscher liegen die erreichbaren Staub-emissionskonzentrationswerte bei 15 mg /Nm^3.

Bei Einsatz von Elektrofiltern können bei Kalköfen im Allgemeinen Staubemissionswerte von 30 - 50 mg/Nm^3 bzw. 0,03 – 0,05 kg/t Zellstoff (bei einem spezifischen Abgasvolumenstrom von 1000 m^3/t Zellstoff) erreicht werden.

SO_2-Emissionen: Soweit die Umstellung auf andere Brennstoffe oder des Betriebs nicht zu einer ausreichenden Reduzierung der SO_2-Emissionen führt, wird die Absorption der im Rauchgas enthaltenen Schwefeloxide in alkalischer Lösung als BVT angesehen. Die Reinigungsleistung für SO_2 liegt üblicherweise bei deutlich über 90 %.

- Bei Rückgewinnungskesseln, die mit einem Wäscher ausgerüstet sind, sind SO_2-Emissionen zwischen 10 - 50 mg S/Nm^3 bzw. 0,1 – 0,4 kg S/t Zellstoff erreichbar. Rückgewinnungskessel, die mit hoch feststoffhaltiger Schwarzlauge betrieben werden, weisen sehr niedrige SO_2-Emissionen auf, die normalerweise unter 0,1 kg S/t Zellstoff bzw. bei 5 - 10 mg S/Nm^3 liegen.
- Beim Kalkofen hängen die SO_2-Emissionen hauptsächlich vom eingesetzten Brennstoff, vom Schwefelgehalt des Kalkschlammes ab sowie davon, ob auch übelriechende S-haltige Gase dem Ofen

zugeführt werden. Bei ölbefeuerten Öfen, in denen keine übelriechenden S-haltigen Gase mitverbrannt werden, werden 5 - 30 mg SO_2/Nm^3 bzw. 0,005 – 0,03 kg SO_2/t Zellstoff erreicht. Bei ölbefeuerten Öfen, in denen übelriechende, S-haltige Gase mitverbrannt werden, werden 150 - 300 mg SO_2/Nm^3 bzw. 0,1 – 0,3 kg SO_2/t Zellstoff erreicht. In Abhängigkeit von der durch die Mitverbrennung von übelriechenden S-haltigen Gase Schwefel dem Ofen zugeführten Schwefelmenge kann die Installation eines Wäschers erforderlich werden. Eine andere Möglichkeit zur Verminderung der SO_2-Emissionen besteht darin, die übelriechenden S-haltigen Gase an anderer Stelle als dem Kalkofen zu verbrennen oder im Einsatz von Öl mit niedrigerem S-Gehalt als Brennstoff.

NO_x-Emissionen: Die Emission von Stickoxiden kann zum einen durch die Brennerkonstruktion (Brenner mit niedrigen NOx-Emissionen) und zum anderen durch modifizierte Verbrennungsbedingungen (Primärmaßnahmen) vermindert werden.

- Die Konzeption eines Laugen-Rückgewinnungskessels (gestufte Luftzuführungssysteme) kann zu vergleichsweise niedrigen NO_x–Konzentrationen führen. Wegen der großen Mengen an zu verbrennenden Flüssigkeiten ist der Rückgewinnungskessel jedoch für den größten Anteil der gesamten NO_x-Emissionen verantwortlich. Erhöhte Feststoffgehalte in der Schwarzlauge können zu leicht erhöhten NO_x-Emissionen führen. Erreichbare Emissionen liegen im Bereich von 80 - 120 mg NO_x/Nm^3 (40 - 60 mg NO_x/MJ) bzw. 0,7 – 1,1 kg NO_x/t Zellstoff. Die Produktion von Prozessdampf liegt zwischen 13 und 18 GJ/t Zellstoff.
- In Sulfatzellstofffabriken ist der Kalkofen aufgrund der hohen Verbrennungstemperaturen auch eine NO_x-Quelle. In Kalköfen hat auch die Brennstoffsorte einen Einfluss auf die NO_x-Bildung. Bei gasbefeuerten Öfen werden höhere NO_x-Niveaus gemessen als bei ölbefeuerten. Bei ölbefeuerten Öfen liegen die NO_x-Emissionen im Bereich von 100 - 200 mg/Nm^3 bzw. 0,1 – 0,2 kg NO_x/t Zellstoff, während bei gasbefeuerten Öfen 380 - 600 mg/Nm^3 bzw. 0,4 – 0,6 kg NO_x/t Zellstoff erreicht werden. Die Verbrennung von übelriechenden Gasen im Kalkofen kann die NO_x-Emissionen auch erhöhen. Die Möglichkeiten zur Reduzierung der NO_x-Emissionen sind begrenzt und bestehen in der Einstellung der Ofenbetriebsparameter, der Flammenform, der Luftverteilung und des Sauerstoffüberschusses, was zu einer leichten Reduktion der NO_x-Bildung (um 10 – 20%) führen kann.
- Durch einen separaten Ofen zur TRS-Verbrennung fallen zusätzlich ca. 0,1 – 0,2 kg NO_x/t Zellstoff an.

Sekundäre Maßnahmen zur Verminderung von NO_x-Emissionen wie die selektive, nicht-katalytische Reduktion (SNCR) sind nicht in Betrieb.

TRS-Emissionen (übelriechende Gase): Übelriechende Gase aus der Zellstoffherstellung werden erfasst und in Abhängigkeit von der Konzentration und den Volumenströmen auf verschiedene Art und Weise behandelt. Die überriechenden Gase werden in schwach und stark belastete Gase eingeteilt. Die Systeme für die Behandlung der konzentrierten übelriechenden Gase schließen ein Zusatzsystem ein, das im Falle von Betriebsstörungen, Wartungsarbeiten oder anderen Betriebstillständen des normalen Systems zum Einsatz kommt. Die Behandlung der übelriechenden Gase besteht in der Verbrennung mit anschließender alkalischer Rauchgaswäsche. Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Verbrennung der übelriechenden Gase: Kalköfen, speziell dafür ausgelegte Verbrennungsanlagen oder die Laugen-Rückgewinnungskessel.

- Soweit konzentrierte übelriechende Gase in kleiner Menge im Kalkofen verbrannt werden, wird ein Teil des Schwefels absorbiert. Die TRS-Emissionen vom Kalkofen werden durch effiziente Kalkschlammwäsche und Überwachung der Verbrennungsbedingungen vermindert. Mit einem modernen Kalkfilter können die Schwefelwasserstoffemissionen auf ein Niveau von unter 15 mg H_2S/Nm^3 (10 % O_2) gebracht werden. Sofern die TRS-Emissionen weiter verringert werden sollen, muss nach dem Elektrofilter ein alkalischer Abgaswäscher installiert werden. Damit können die H_2S-Emissionen, verbunden mit einem hohen Alkaliverbrauch, auf ca. 1,5 mg/Nm^3 gesenkt werden.
- Bei der Verbrennung von konzentrierten übelriechenden Gasen in speziell dafür ausgelegten Anlagen werden die TRS- in SO_2-Emissionen überführt. Deshalb muss eine Verbrennungsanlage immer mit einem Wäscher ausgestattet sein.
- Die Verbrennung der konzentrierten Gase in einem Rückgewinnungskessel, der mit hohen Feststoffgehalten betrieben wird, führt zu niedrigen Schwefelemissionen, sowohl als SO_2 als auch als TRS.
- Verdünnte, in großer Menge anfallende übelriechende Gase können dem Rückgewinnungskessel zugeführt werden, wo sie mit der sekundären oder tertiären Verbrennungsluft gemischt werden; sie können aber auch zusammen mit den konzentrierten TRS-haltigen Gasen in einem separaten, speziell dafür vorhandenen

Brenner verbrannt werden. In Kalköfen können verdünnte übelriechende Gase mit der Sekundärverbrennungsluft gemischt werden.

Neben dem gewählten Abgasbehandlungssystem werden die schlussendlich auftretenden TRS-Emissionen durch die Zahl der an das Gaserfassungssystem angeschlossenen Anlagen und durch die Anlagenverfügbarkeit einschließlich des Notfallsystems bestimmt. Die freigesetzten flüchtigen TRS-Emissionen bestehen hauptsächlich aus nicht erfassten, verdünnten übelriechenden Gasen. Die Verfügbarkeit hängt vom Abgasbehandlungssystem, der Anzahl und der Art der Notfallsysteme sowie von der Überwachung und der Steuerung des Systems ab. Eine hohe Verfügbarkeit des Abgasbehandlungssystems kann z.B. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Einsatz einer speziell ausgelegten Verbrennungsanlage mit SO_2-Wäscher als Hauptanlage und Einsatz des Kalkofens oder eines Alkaliwäschers als erstes Notfallsystem und einer Fackel als zweites.
- Verbrennung der stark und schwach belasteten Gase im Rückgewinnungskessel und Einsatz des Kalkofens als erstes Notfallsystem und einer Fackel als zweites.

Hilfskessel

In Abhängigkeit von der aktuellen Energiebilanz einer Fabrik, den eingesetzten externen Brennstoffsorten und dem Verbleib möglicher Biobrennstoffe wie Rinde und Holzabfall sind Abgasemissionen aus Hilfskesseln zu beachten. Die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus aus Hilfskesseln, in denen fabrikeigene Biobrennstoffe und verschiedene fossile Brennstoffe verbrannt werden, sind in Tabelle 2.44 wiedergegeben. Die gesamten Abgasemissionen sind sehr standortspezifisch (z.B. Brennstoffsorte, intergrierte oder Marktzellstofffabrik, Stromerzeugung). Es muss angemerkt werden, dass viele Fabriken ein Brennstoffmix einsetzen.

Emittierte Stoffe	Kohle	Schweröl	Gasöl	Gas	Biobrennstoffe (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoffeinsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 – 200 [1] (50 - 100)[5]	25 - 50	< 5	< 15
mg NO_x/MJ Brennstoffeinsatz	80 - 110 [2] (50 -80 SNCR)[3]	80 – 110 [2] (50 –80 SNCR)[3]	45 - 60 [2]	30 - 60 [2]	60 – 100 [2] (40 – 70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] bei 6 % O_2	10 – 40 [4] bei 3 % O_2	10 - 30 bei 3 % O_2	< 5 bei 3 % O_2	10 - 30 [4] bei 6 % O_2

Anmerkungen:
1) Die Schwefelemissionen aus öl- oder kohlebefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Öl oder Kohle mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine bestimmte Reduzierung der S-Emissionen kann durch Einblasen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Bei ausschließlichem Einsatz der Verbrennung
3) Sekundärmaßnahmen wie SNCR werden auch eingesetzt; nur bei größeren Anlagen
4) Erreichte Werte bei Einsatz von Elektrofiltern
5) Bei Einsatz eines Wäschers; wird nur bei größeren Anlagen eingesetzt

Tabelle 2.44: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz von besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe

Es ist anzumerken, dass Hilfskessel in der Zellstoff- und Papierindustrie von sehr unterschiedlicher Größe sein können (von 10 bis über 200 MW). Bei kleineren Kesseln kann zu vernünftigen Kosten nur die Verwendung von Brennstoff mit niedrigem S-Gehalt und von Verbrennungstechniken zum Einsatz kommen, während für größere Anlagen auch Verminderungstechniken in Frage kommen. Dieser Unterschied spiegelt sich in Tabelle 2.44 wider. Die obere Grenze der angegebenen Bereiche gilt für kleinere Anlagen und kann ausschließlich durch die Brennstoffqualität und durch interne Maßnahmen erreicht werden; die untere Grenze (in Klammern) ist mit zusätzlichen Verminderungsmaßnahmen wie SNCR verbunden und kommt als BVT nur für größere Anlagen in Frage.

In modernen, nichtintegrierten Fabriken übersteigt die mittels Schwarzlauge und Rindenverbrennung erzeugte Wärme den für den gesamten Produktionsprozess benötigten Energiebedarf. Allerdings wird Heizöl für bestimmte Gegebenheiten wie das Anfahren von Anlagen und in vielen Fabriken auch für den Kalkofen benötigt.

Feste Abfälle

1. Weitestgehende Verminderung des Anfalls von festen Abfällen und, soweit wie möglich, ihre Rückgewinnung, Rückführung und ihr Wiedereinsatz.
2. Separate Erfassung der Abfallfraktionen am Ort ihrer Entstehung und, falls erforderlich, Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfall, um eine sachgerechte Aufbereitung der übrig bleibenden Abfallstoffe zu ermöglichen (z.B. externe Wiederverwendung).
3. Verbrennung der gesamten, nicht gefährlichen organischen Stoffe (Rinde, Holzabfall, Klärschlamm etc.) in einem Hilfskessel, der speziell für die Verbrennung von feuchten Brennstoffen mit niedrigem Heizwert ausgelegt ist (z.B. ein Wirbelschichtkessel).
4. Soweit möglich, externe Wiederverwendung von Reststoffen/Abfall als Ersatzstoffe in der Forstwirtschaft, Landwirtschaft oder in anderen Industrien.

Es ist anzumerken, dass hinsichtlich der erreichbaren Abfallmengen wenig detaillierte und verlässliche Informationen verfügbar sind. Es fehlen statistische Angaben und in Europa gibt es für die unterschiedlichen Abfallfraktionen verschiedene Begriffe. Einige Länder machen nur zu solchen festen Abfällen Angaben, in erster Linie anorganische feste Abfälle, die nicht länger rückgeführt und wieder eingesetzt werden können, sondern auf einer Deponie abgelagert werden müssen. Dies bedeutet, dass bereits alle organischen Abfälle, die einen vernünftig hohen Heizwert besitzen und/oder die ohne Risiko im Hinblick auf die Emission von gefährlichen Stoffen im Hilfskessel einer Fabrik verbrannt werden können, nicht in den anfallenden Abfallmengen beinhaltet sind (Rinde und Holzabfall, Primär- und Belebtschlamm aus der Abwasserbehandlung). Folglich besteht der auf einer Deponie abzulagernde Abfall hauptsächlich aus Kesselaschen, Schlämmen aus der Kaustifizierung, Kalkschlamm, Grünlaugeschlamm, einigen Holz- und Rindenrejekten und sonstigen Reinigungs- und gemischten, hausmüllähnlichen Abfällen.

Deshalb ist die Unterbreitung von erreichbaren Werten für die Menge an nicht gefährlichem festem Abfall schwierig. Um einen Anhaltspunkt für die Menge an festem Abfall zu geben, der bei einer die BVT einsetzenden Sulfatzellstofffabrik anfällt, sind einige Beispiele für die wichtigsten zu deponierenden Abfälle in Tabelle 2.45 wiedergegeben. Es wird angenommen, dass Rinde und andere Holzreste sowie der gemischte Schlamm aus der Abwasserbehandlung zur Energieerzeugung im Hilfskessel eingesetzt werden. Alle Abfallmengen sind in kg (staubtrocken)/t Endprodukt angegeben (100% TS).

Beispiele	Abfallart	Abfallmenge [kg TS/t]	Gesamtmenge [kg TS/t]
Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfatmarktzellstoff	- Aschen - Sedimentations-schlämme - Rinde, Holzabfall etc. - Rejekte	2,0 10,0 3,4 0,3	15
Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfatmarktzellstoff	- Kalkschlamm - Grünlauge-Sedimentations-schlämme - Belebt- und Primärschlamm - Rejekt (Holzvorbereitung) - Holzaschen - andere	9,7 8,1 8,7 2,1 3,9 10,5	45
Integrierte Fabrik zur Herstellung von ungebleichtem Sulfatzellstoff	Nicht spezifiziert	Keine Angaben verfügbar	30 - 50 (Bereich dreier Beispiele)

Tabelle 2.45: Beispiele für die Mengen an festen zu deponierenden Abfällen von einigen Sulfatzellstofffabriken [Angaben von Fabrikbeispielen und aus Umweltberichten]

In allen Fabriken fällt eine kleine Menge gefährlichen Abfalls an. Dieser beinhaltet Öl- und Fettreste, Altöl aus Hydraulikanlagen und Transformatoren, Altbatterien und anderen Elektroschrott, Lösemittel, Farben, Biocide und chemische Rückstände etc.. Normalerweise beträgt die Menge um 0,05 – 0,1 kg/t Produkt.

Energiesparmaßnahmen

Zur Reduzierung des Verbrauchs an Frischdampf und Strom und zur Steigerung der internen Erzeugung von Dampf und Strom stehen mehrere Maßnahmen zur Verfügung

1) Maßnahmen für eine hohe Wärmerückgewinnung und für einen niedrigen Wärmeverbrauch:
- Hoher Feststoffgehalt in der Schwarzlauge und in der Rinde
- Hohe Effizienz der Dampfkessel, z.B. niedrige Rauchgastemperaturen
- Wirksames sekundäres Heizsystem wie z.B. Heißwasser um 85 °C
- Sorgfältig geschlossenes Wassersystem
- Vergleichsweise sorgfältig geschlossenes Wassersystem in der Bleichanlage
- Hohe Zellstoffkonzentration (MC-Technik)
- Vortrocknung des Kalks
- Einsatz von sekundärer Wärme für die Gebäudeheizung
- Gute Prozesskontrolle

2) Maßnahmen für einen niedrigen Stromverbrauch
- So hoch wie mögliche Zellstoffkonsistenz beim Sortieren und Bleichen
- Drehzahlsteuerung der verschiedenen großen Motoren
- Effiziente Vakuumpumpen
- Sorgfältige Bemessung der Rohrleitungen, Pumpen und Gebläse

3) Maßnahmen für eine hohe Stromerzeugung
- Hoher Kesseldruck
- Gegendruck des Dampfes in der Gegendruckturbine so niedrig als technisch machbar
- Kondensationsturbine zur Energieerzeugung mittels Überschussdampf
- Hohe Turbineneffizienz
- Vorwärmung der den Kesseln zugeführten Luft und des Brennstoffs

Die Auswirkung dieser Energiesparmaßnahmen können oft nicht einfach in Form von Werten angegeben werden, da die Verbesserungen von der Situation in der Fabrik vor Einführung der Maßnahmen abhängen.

In vielen europäischen Ländern sind öffentlich zugängliche Informationen über die Energiebilanz der ganzen Zellstoff- und Papierfabriken nur spärlich verfügbar. In Europa sind unterschiedliche Berichtssysteme im Einsatz. Auch hängen Energiebilanzen zu einem gewissen Grad von den örtlichen Bedingungen ab. Deshalb sollten die in Tabelle 2.46 angegebenen Bereiche für den Energieverbrauch von Zellstofffabriken nur als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch von Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Sulfatzellstofffabriken genommen werden. Weitere Beispiele für energieeffiziente Sulfatzellstofffabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen könnten der überarbeiteten Version dieses BREFs hinzugefügt werden.

Fabriktyp	Prozesswärme-verbrauch (netto) in GJ/t Zellstoff	Stromverbrauch (netto) in MWh/t Zellstoff	Bemerkungen
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstel-lung von gebleich-tem Sulfatzellstoff	10 - 14 um 2-2,5 GJ/t können für die Stromerzeugung eingesetzt werden, was zu einem Wärme-überschuss von 0,5-1,0 GJ/t führt	0,6 - 0,8 Moderne Zellstofffabriken sind strom-autark	Eine integrierte Fabrik berichtete einen Wärmever-brauch von 10 GJ/t in der Zellstofffabrik (2,2% Zell-stoffkonsistenz) [1]
Integrierte Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfat-zellstoff und von ungestrichenem Feinpapier	14 - 20 [2)] Es besteht ein Wärmeüber-schuss von 4,0-4,5 GJ je Tonne gepumptem, gebleichtem Zell-stoff, der in der Papierfabrik eingesetzt wird.	1,2 - 1,5 Aus der Zellstofffabrik kann ein Strom-überschuss von 0,1 - 0,15 MWh je Tonne gepumptem, gebleichtem Zellstoff anfallen, der in der Papierfabrik eingesetzt wird.	Der Stromüberschuss, soweit er überhaupt anfällt, hängt vom Einsatz von Gegendruckturbinen ab.
Integrierte Fabrik zur Herstellung von ungebleichtem Kraftliner	14,0 - 17,5 Es besteht ein Wärmeüber-schuss von 1,5-2 GJ je Tonne gepumptem ungebleichtem Zellstoff, der in der Papier-fabrik eingesetzt wird.	1,0 - 1,3 Aus der Zellstofffabrik besteht ein Stromüberschuss von 0,15 - 0,2 MWh je Tonne gepumptem ungebleichtem Zell-stoff anfallen, der in der Papierfabrik eingesetzt wird.	
Integrierte Fabrik zur Herstellung von ungebleichtem Sackpapier	14 - 23	1,0 - 1,5	
Die Einheiten können wie folgt von MWh in GJ umgerechnet werden: 1 MWh = 3,6 GJ und 1 GJ = 0,277 MWh Anmerkungen: 1) einschließlich Belebtschlammbehandlung 2) Für das Trocknen von Papier wird mehr Energie verbraucht als für das Trocknen von Zellstoff			

Tabelle 2.46: Energieverbrauch je Tonne Produkt bei Einsatz bester verfügbarer Techniken für verschiedene Produktionstypen
[Angaben von Jaakko Pöyry, 1998, SEPA report 4712, Finnish BAT report, 1998, Angaben von Fallstudien]

Chemikalieneinsatz

1. Verfügbarkeit einer Datenbank, die für alle eingesetzten Chemikalien und Additive Informationen zur chemischen Zusammensetzung der Substanzen, zur Abbaubarkeit, zu ihrer Toxizität für Mensch und Umwelt und zum Bioakkumulationspotenzial enthält.
2. Das Prinzip der Substitution wird angewandt, z.B. Einsatz von weniger gefährlichenProdukten, soweit verfügbar.

2.5 Emerging Techniques

A number of new promising technologies are presently being developed that result in reduction of emissions or energy savings. The improvements of environmental performance may not always have been the main driving force, but plays an important role in the development. Some of these techniques are described in the subsections below. This Chapter includes addressing environmental issues that have only recently gained interest and research programmes related to the development of environmentally improved solutions for the production of high-quality pulp and paper products.

2.5.1 Gasification of Black Liquor

Description: Gasification is a suitable promising technique for pulp mills for the generation of a surplus of electrical energy. Production of a combustible gas from various fuels (coal, wood residues, black liquor) is possible through different gasification techniques. The principle of the gasification of black liquor is to pyrolyse concentrated black liquor into an inorganic phase and a gas phase through reactions with oxygen (air) at high temperatures. A number of gasification processes for black liquor have been proposed. Conceptually, they fall into two categories. One is low temperature gasification, where the gasifier operates below the melting point of the inorganic salts (700-750 ^{o}C). Fluidised beds are suitable for a low temperature gasification process, and are used in all of the low temperature processes under development. The other category includes those processes which operate above the melting point and use a water quench to cool and dissolve the molten sodium salts. One example of gasification processes is described in this context:

Example: The Chemrec Process
At the Frövifors mill (Sweden), black liquor is taken from the evaporation plant in the pulp mill and heated to 130 to 135^{o}C using indirect steam. The black liquor is at approximately 65 % dry solids content. The heated liquor then enters the first portion of the Chemrec process, which is a gasifier.

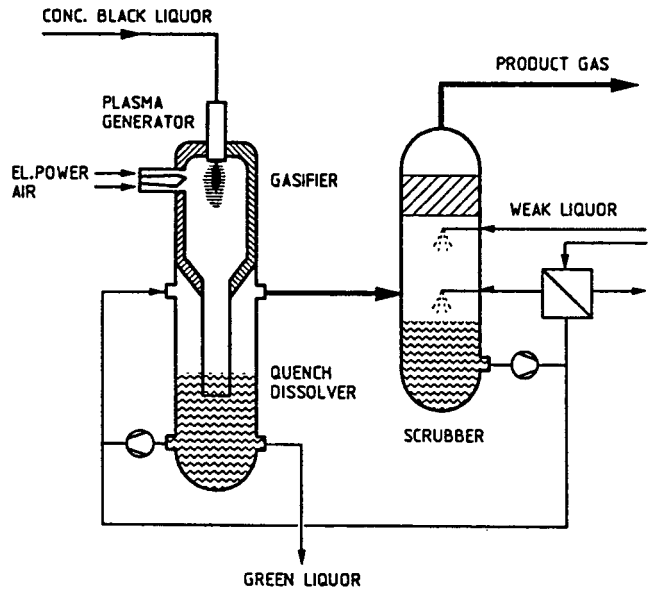


Figure 2.13: The Chemrec process with a gasifier and a quench dissolver for green liquor production and with a weak liquor gas scrubber for hydrogen sulphide absorption

The black liquor is introduced in the gasifier, where it is atomised by high-pressure air (12 bar) and sprayed into the upper part of the reactor. The main air flow needed for the process is pressurised to 0.5 bar and preheated from 80 to 500 ^{o}C. The atmosphere in the chamber is approximately 950 ^{o}C, and the atomised black liquor forms small droplets that are partially combusted. The inorganic compounds in the black liquor are converted to small smelt droplets of sodium sulphide and sodium carbonate, and this mist drops through the reactor and down to the quench cooler, which is an integrated portion of the reactor unit. The organic compounds are converted to a combustible gas containing carbon monoxide, methane and hydrogen.

The smelt droplets and combustible gas are separated when they are simultaneously brought into direct contact with a cooling liquid in the quench cooler that drops the temperature to 95^{o}C. The smelt droplets dissolve in the weak wash to form a green liquor solution that is pumped to the dissolving tank under the recovery boiler. Some weak green liquor is recirculated to the quench. A screen is used ahead of the pump to catch small particles and undissolved smelt droplets.

One of the most interesting opportunities with the black liquor gasification processes are to run a gas turbine in combination with a steam turbine in a combined cycle as shown in Figure 2.14 and Figure 2.15. The difficulty to be overcome is primarily the cleanness of the gas to avoid disturbances in the gas turbine.

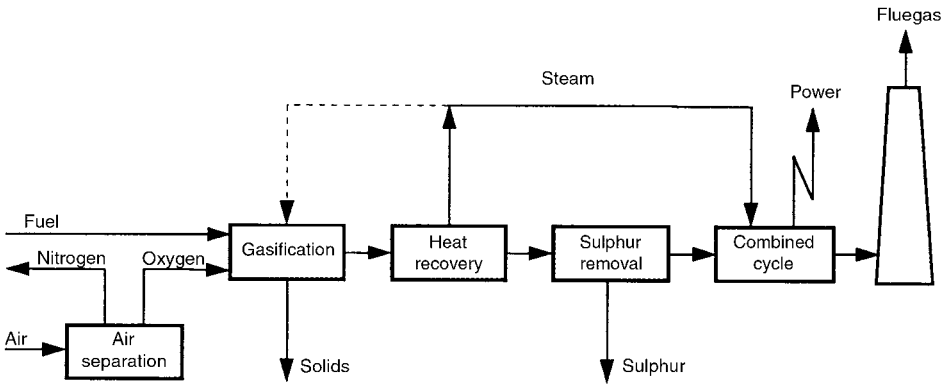


Figure 2.14: Integrated gasification with combined cycle (IGCC)

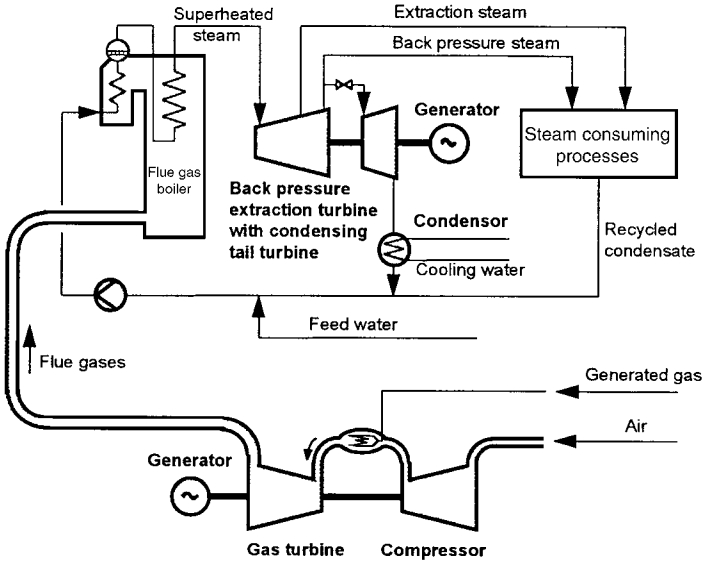


Figure 2.15: Combined cycle for power production by means of gas turbine and steam turbine with condensing tail

Status of development: The first demonstration plant of black liquor gasification using Chemrec concept has been operated at Frövifors Mill in Sweden since 1991. A pressurised demonstration gasifier of this type has also been in operation in Skoghall in Sweden. This type of process is also applied commercially in the U.S.A. since 1997.

The Integrated Gasification with Combined Cycle Technology (IGCC) can only gradually be introduced in the Paper Industry, mainly because of the life time of present recovery boiler. Furthermore, the gasifiers will initially only be designed for smaller capacities than for a large pulp mill. Before the year 2010, the IGCC technology is only expected to play a marginal role in the overall kraft industry. It might be interesting for some mills where the recovery boiler is the bottleneck in the production and an increase of the chemical recovery capacity would solve these limitations.

Environmental implications: The possible advantages of black liquor gasifiers are:

- Increased electric power generation through the use of combined cycle (gas turbine plus steam turbine). Theoretical balance calculations show that a black liquor based IGCC concept may reach a power efficiency of about 30 % calculated on the heat value of the black liquor. This may be compared with 12-13 % for the conventional recovery boiler. However, at the same time the overall efficiency (power + steam) would decrease by about 5 % to about 75 %. Thus, the production of process steam decreases. In a situation with a surplus of steam, this appears as an interesting option for an increased power production for export.
- Low emissions to the atmosphere
- Enabling pulp mills restricted in capacity, because of recovery boiler limitations, to increase production. The system is particularly beneficial in mills having a built-in but unused pulping capacity, and where fibre line modifications add more dry solids to the recovery system (e.g. low Kappa pulping, oxygen delignification, increased recycling of effluents from bleaching system)

If the kraft industry should introduce the IGCC technology the industry should have the potential of producing about 1700 kWh/ADt as compared with the present level of about 800 kWh/ADt. Thus the potential increase corresponds to about 900 kWh/ADt. At the same time the heat generation would be reduced by about 4 GJ/ADt, which is more than a typical surplus in a modern kraft mill.

Economic considerations: No data available

Literatur: [SEPA-Report 4713-2,1997]

2.5.2 Use of SNCR on the recovery boiler

Description: The NOxOUT-process is one of several existing processes which are utilising the principal of Selective Non Catalytic Reduction (”SNCR”) to cut down NO_x emissions, which means the thermal reduction of nitrogen oxides by ammonia to nitrogen according to the following reaction equations:

$$2NO + 2NH_3 + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow 2N_2 + 3H_2O$$

$$3NO_2 + 4NH_3 \rightarrow \tfrac{7}{2} N_2 + 6H_2O$$

If urea is used the following primary net reaction occurs in which ammonia is formed:

$$(NH_2)_2CO + H_2O \rightarrow 2NH_3 + CO_2$$

The reducing agent in a full-scale test in Sweden was a chemically enhanced water-based solution of urea. The process utilises the furnace as a 'chemical reactor' and does not require any additional equipment downstream of the boiler. The reaction normally occurs within a narrow temperature band around 1000 °C. When the temperature is too high more NO_x is produced. When the temperature is too low, ammonia is formed. In the NOxOUT process, the temperature band is widened and chemical enhancers suppress the by-production of ammonia. Ammonia (NH_3-slip) produced by unwanted side-reactions and consumption of chemicals are the major parameters when optimising and running the NOxOUT process.

Status of development: A Swedish kraft pulp company commissioned a full-scale test of the patented NOxOUT-process in one of its existing recovery boilers. During the test period, the boiler operated between 95 and 105 % of maximum continuous rate. A number of injection ports for reduction chemicals was installed at several levels. The project has shown that thermal reduction of nitrogen oxides using the NOxOUT process can successfully be applied to recovery boilers.

Environmental implications: Compared with other combustion processes the recovery boiler shows low emissions of nitrogen oxides. Typical nitrogen oxide levels are found to be between 50 and 80 mg NOx/MJ. Despite of relative low flue gas NOx concentrations the recovery boiler is the largest source of NOx emissions in a kraft pulp mill (due to high gas flows). Thus, flue gas treatment measures applied to the recovery boiler would give the greatest effect on the total emissions. Furthermore, an increase of NOx emissions from modern, high efficiency recovery boilers may be expected mainly caused by the demand for increased dry content of the black liquor and higher furnace loads.

Analysis assuming a stochiometry of 1:1 indicates the following performance of the NOxOUT-process:

- An average NOx level without NOxOUT of 80 mg/m^3n (standardised m^3, dry gas at 3% O_2)
- An average NOx level with NOxOUT of about 55 mg/m^3n (about 30% reduction)
- A slight increase of ammonia (slip) in the order of 3-4 mg/m^3n (stochiometry 1:1)

Depending on stochiometry applied up to 50% NOx-reduction (stochiometry 2:1) is achievable despite the low NOx level without treatment (but then linked to an increase of ammonia-slip). No disturbances or other negative effects on the operation of the recovery boiler were observed during the full-scale test runs. No negative effect in the chemical recovery cycle was observed. The total operating costs is relatively low. The alteration required on the recovery boiler may be done during a normal maintenance stop.

The use of urea in SNCR-processes can eventually cause corrosion problems due to the possible formation of corrosive by-products. For security reasons it has therefore in Sweden been recommended to avoid the use of urea-injection in recovery boilers. Because of that the Swedish kraft Pulp Company has performed several new trials with the use of NH_3 (gaseous or liquid) instead of urea resulting in NOx-reductions between 20 - 50 % (stochiometry from 1:1 to 2:1) with varying NH_3-slips. A NOx-reduction of about 30 % seems to be reachable with acceptable low NH_3-slip. The company is planning a long-time trial before come to decision about a final installation or not. The investment costs for installation at recovery boilers are today much lower compared to the below figures and are estimated to be below 1 MEuros (with the use of liquid NH_3).

Economic considerations: The investment costs for a complete installation of the NOxOUT process at a recovery boiler similar to that in the tested mill (black liquor load: 1600 t dry solids/day) amount to about 2.2 - 2.8 MEuros. Operating costs for the system include chemical supply (urea and enhancers), electricity, heat used to condensate injected water and labour. Of these, the most influencing factor is the price of urea. It is difficult to give a meaningful estimate

of the operating costs due to the variation in world-wide prices. However, during the test period in Sweden the urea costs about 154 Euros/t, the total operating cost calculated for the given recovery boiler was in the range of 1 to 1.4 Euros/kg reduced NOx.

Literatur: [Lövblad, 1991]

2.5.3 Removal of chelating agents by modest alkaline biological treatment or by use of kidneys

Description: The chelating agents ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) and diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) has been used for many years in the pulp and paper industry. They are applied because of good sequestering properties, i.e. their ability to suppress the activity of the dissolved transition metal ions without precipitation (in the following the shortage "Q" will be used for both of them). These metal ions are able to catalyse the decomposition of the bleaching agent hydrogen peroxide into radicals. Totally chlorine free (TCF) bleaching is currently only possible by treating the pulp with Q before the hydrogen peroxide stage. Increased concentrations of Q are therefore found in wastewaters generated from the production of TCF pulps. In wastewater analyses of a TCF mill producing market kraft pulp 25-40% of charged Q has been identified. This corresponds to Q contents of 10 and 15 mg Q/l in the effluent at a charge of 2 kg Q per tonne of pulp. Although EDTA is non-toxic to mammals at environmental concentrations, there is some concern about the potential of EDTA to remobilize toxic heavy metals out of sediments and the difficulties to biodegrade this substance. In the following only experiences from the use and fate of EDTA are discussed.

Option 1: Biological treatment with and without activated sludge systems commonly used in the pulp and paper industry is successful in reducing COD and BOD of the effluents. However, the system can not significantly reduce EDTA of the mill effluent. It has been found that EDTA is resistant to aerobic biodegradation in the activated sludge plant operated under "normal" conditions (pH 7). Furthermore, EDTA does not adsorb onto sludge so that EDTA passes through treatment plants without notable degradation. A recent study [Virtapohja, 1997] investigated the biodegradation of EDTA in a full-scale activated sludge plant under modest alkaline conditions (pH 8 - 9). An average EDTA reduction of about 50% (about 10% at pH 7) was obtained.

Option 2: Another technical option to reduce the consumption and discharge of Q used before the peroxide stages in TCF mills is the use of kidneys. One Swedish pulp mill will put in operation a kidney for recovery of EDTA from Q-stage effluents at the end of 1998. There, it is expected that the consumption of EDTA can be reduced by 65% with TCF. In the given Swedish kraft pulp mill it is planned to apply the Kemira NetFloc system which has been demonstrated to be a very efficient tool to remove problematic substances like extractives and metals from pulp and paper filtrates.

In the Netfloc system [Rampotas, 1996] the pH is increased and carbonate dosed for precipitation. Metals bound to EDTA (or DTPA) are released and precipitated. A high molecular weight polyethylene oxide (PEO) for flocculation is added to the selected filtrate. In the actual application, a water solution of the PEO is made in a polymer preparation unit and the PEO solution is dosed into a filtrate pipe. The flocculation reaction between PEO and extractives is fast and it is completed before the filtrate leaves the pipe. It has been discovered recently that the PEO-resin flocs collect any undissolved substances in the filtrate. This means that precipitated metal salts (e.g. hydroxides, sulphates) will end up in the resin sludge. The final operation includes separation of resin sludge from the filtrate, which is usually be done by mechanical means as e.g. a flotation unit. The treated filtrate with the recovered Q is reused in the process and the resin sludge may be either pumped to the green liquor sludge filter or burned

in the bark boiler directly or after de-watering in a press. The principle of application this kidney is shown in Figure 2.16.

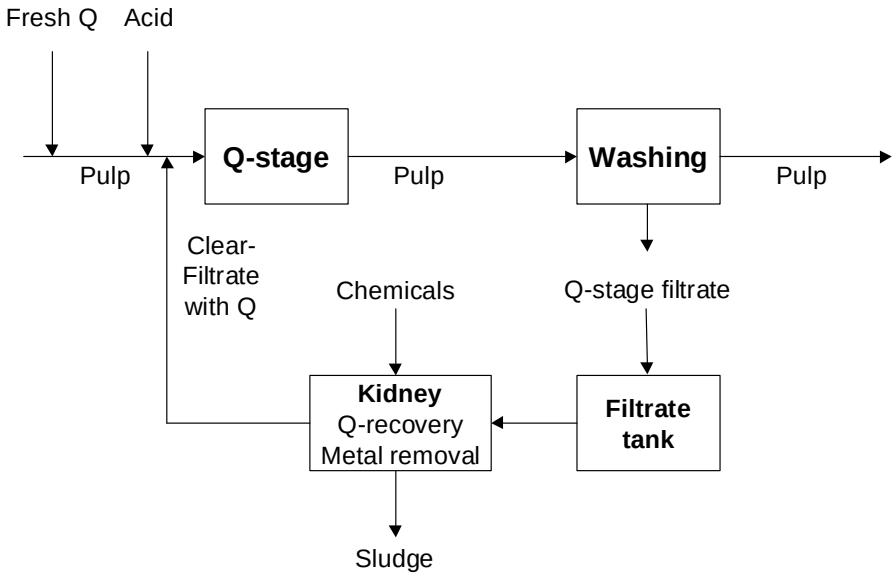


Figure 2.16: Recovery of chelating agents in bleach plant filtrates by use of a kidney

By reducing the amount of metals entering the bleach plant, a smaller charge of chelating agents is needed prior to the peroxide stage. Additionally the recovery of Q itself reduces the consumption needed. Expected reduction rates are over 80% for calcium, manganese and iron. The recovery of Q results in a lower charge of fresh Q. Thus, lower levels of metal complexes will be found in the effluent.

Status of development: The biodegradation of EDTA in activated sludge plants under alkaline condition looks promising. The treatability of EDTA containing wastewaters from bleaching plants in activated sludge plants under moderate alkaline conditions has been confirmed by investigations both in laboratory-scale experiments [C.G. van Ginkel, 1997 a+b] and full-scale activated sludge plants. Detailed information about EDTA complexes and the influence of sludge retention time, temperature etc. is probably required in order to improve the assessment of EDTA removal from paper mill wastewater (Fe(III)EDTA complexes are well-known as recalcitrant, Mn and Ca salts of EDTA are more readily biodegradable). A low sludge retention time and the Fe(III)EDTA complex may account for only partial removal. On the other hand, photodegradation of the FeEDTA complex has been reported [Kari, 1996] i.e. FeEDTA is the only EDTA complex that may be photochemically transformed in surface waters. In continuously sunny areas FeEDTA will probably degraded in the effluent receiving waters.

Recently, the first full-scale application of the Kemira NetFloc system for recovery of EDTA from bleach plant effluents has been put into operation. Operational experiences are not available.

Environmental implications: In a full-scale activated sludge plant under modest alkaline conditions (pH 8 - 9) an average EDTA reduction of about 50% (about 10% at pH 7) was obtained. The results also indicated that the pH adjustment to 8 - 9 with calcium oxide (dosage about 90 mg CaO/l) did not interfere with the normal operation of the activated sludge plant. Concentrations of EDTA in the samples with accelerated biodegradation remained relatively constant (2 - 4 ppm).

Biodegradation of EDTA increases the release of nitrogen. Enhanced degradation of EDTA in activated sludge plants is therefore of clear benefit, not only for environmental reasons but also as a means to increase the level of nutrient nitrogen, which usually is deficient in wastewaters from pulp and paper mills.

Economic considerations: Additional costs for the biodegradation of EDTA in activated sludge plants under alkaline conditions are primarily caused by the CaO consumption.

For the application of the Kemira NetFloc system no data on economics are available.

Literatur:
[Virtapohja, 1997], [Rampotas, 1996], [van Ginkel, 1997a], [van Ginkel, 1997b], [Kari, 1996]

2.5.4 Increased system closure combined with the use of kidneys

Description: Since it is mainly the bleach plant which constitutes the open part of the mill, efforts have been made to minimise the amount of lignin that goes to the final bleaching. The integration of filtrates to the recovery systems remains a problem area. The filtrates have to be recycled within the bleach plant in order to reduce the filtrate volume. This leads to an accumulation of dissolved substances and non-process elements (NPE) in the bleaching stages with associated problems like high chemical consumption and deposition of solids. Kidneys for purging the system of such substances are still needed, both in the bleach plant and in the chemical recovery.
In an ongoing project of the European Commission [Tomani, 1997] it is the intention to continue the research into different possibilities of reusing bleach plant filtrates. With reference to Figure 2.17 the following items will be investigated.

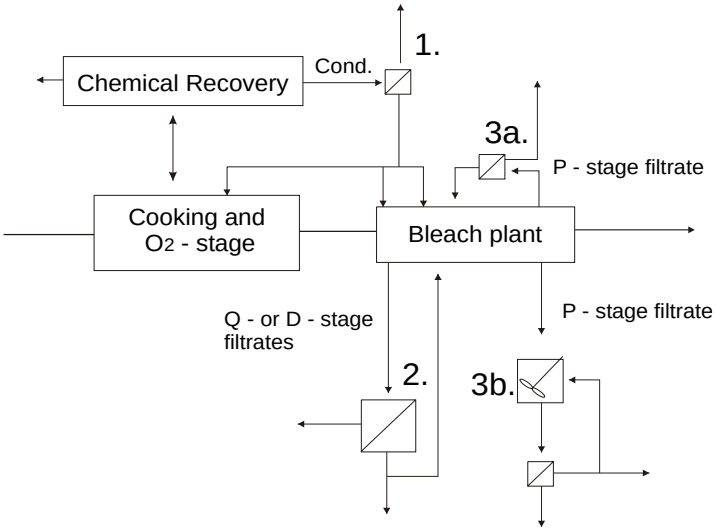


Figure 2.17: Kidneys under development in a current EU-project on separation methods for closed loop technology in bleached kraft pulp production

1. The re-use of condensates from black liquor evaporation either as wash water in bleaching or as other process water. It is essential that this condensate is utilised if low water usage is to be achieved. A major problem is to eliminate the odour due to minor impurities.

2. Acid (Q- or D-stage filtrates) and neutral bleach plant filtrates are the main sources of non-process elements (NPEs) such as Al, Si, P, Ca, Ba, Mn etc. which have to be purged. The objective is to develop a crystallisation/precipitation step together with a separate evaporation unit and to determine the best use of reclaimed water
3. Concerning alkaline filtrates, the objective is
   3a. to develop suitable mineral membranes for nanofiltration that can be used to reduce the amounts of both organic and inorganic substances from hydrogen peroxide bleaching stage. It is also intended
   3b. to look into the possibility of combining membrane filtration with biodegradation for the destruction of organic compounds

Finally, process simulation techniques will be used to determine the consequences for the water, chemical and in some respects also the energy balances, when the proposed separation methods are integrated into the process. The risk for deposits will also be assessed.

A recently started Swedish comprehensive research project "The potential of pulp and paper production as an energy-producing and truly ecocyclic process" (short name: "The ecocyclic pulp mill") [Ecocyclic pulp mill, 1999] is aiming at a proposal for environmentally optimal basic solutions for the increased closure of kraft pulping processes, making possible efficient usage of the energy potential of biomass. The reasons for closing the liquid flows in the pulp and paper mill is not to create a 'completely closed' mill, but rather

- To virtually eliminate the discharges of organic and inorganic material to water
- To facilitate the separation of non-process elements from recirculating streams
- To minimise the dilution of energy released within the system

The main idea of the project is to reduce the heat losses that can theoretically be converted into useful energy. Although it is now possible for a modern bleached kraft pulp mill to be totally independent of external energy sources large amounts of low grade heat still leave the system through emissions and discharges to air and water. The conversion of this low grade heat offers huge future energy potential and is the focus of this program. Increased closure and pressurisation would facilitate the energy generation of a sufficiently high quality for external use. Then, it may be possible to turn the kraft mill into an important **net** energy supplier. Several opportunities for converting waste heat into useful energy exist, including lower water usage. For example, a reduction in water consumption by closure from 40 m^3 per tonne of pulp to less than 10 m^3 per tonne of pulp would theoretically release approximately 15 GJ per tonne of pulp for external use. It should be pointed out that there is currently no technology available that could facilitate the utilisation of more than a fraction of this potential. Today, when the aqueous discharges from pulp are lowered, excess heat has to be removed through cooling towers, as no other economic alternatives are available. The challenge is to upgrade waste heat to a valuable resource.

The research program comprises among others projects on "process chemistry" and "separation processes". This projects focus on the way in which substances which disrupt the process and which are concentrated in the event of greater closure, should be handled to avoid problems such as scaling, chemical decomposition, increased energy consumption and poorer product quality. The use of kidneys for the removal of these process substances is therefore of great interest. Membrane techniques are displaying promising potential for separating harmful organic and inorganic substances from process streams, thus facilitating increased system closure. Membrane technology may therefore play a key role in a future system. Another possibility may be to remove non-process elements before the digester.

According to other results obtained of the work carried out so far one good example of more efficient energy use is pre-evaporation of bleach plant filtrates, where the heat is taken from

waste heat from black liquor evaporation. Pre-evaporation of bleach plant filtrates may be combined with membrane separation, resulting in less energy demand.

Pressurised black liquor gasification (see Section 2.5.1) has the potential to increase electricity production by about 100% compared to conventional recovery boiler. However, the gasification process would be less complicated and less capital demanding if the cooking process was carried out without the use of sulphur. Sulphur-free cooking is therefore an interesting area for the future.

Status of development: There are various research projects investigating different aspects of the closed cycle mill concept.
In the concept towards a closed cycle mill for bleached pulp, areas can be found where new technology has been introduced which facilitates this goal, but also areas where more development is needed. Total system closure during pulp production - that theoretically enables the realisation of an effluent-free pulp mill - is not yet possible because the non-process elements which enter the process mostly with the wood, but also with the chemicals and the process water, accumulate in the process and must be purged out of the system.

Environmental implications: The developments towards closed cycle mills are aiming at eliminating virtually the discharges of organic and inorganic material to water and to minimise the dilution of energy released within the system.

Economic considerations: No data available

Literatur:
[Tomani, 1997], [Ecocyclic pulp mill, 1999]

2.5.5 Organosolv pulping

Description: Within the last decade many research efforts aimed at the development of new pulping processes. There are several unconventional cooking procedures under development, which show considerable promise. The main objectives of these new processes are:

1. Reduced pollution (low water consumption, TCF-pulp, sulphur free)
2. Simpler cooking process and far-reaching closed up recovery of cooking chemicals
3. Improved use of the raw material wood (high yield, alternative use of wood components etc.)
4. Application to all wood species and achieving good pulp properties
5. Lower investment costs

The new pulping processes are based on organic solvents (Organosolv pulping). For some of these processes it can be expected that the gaseous emissions of sulphur dioxide and odorous compounds are reduced because of the use of sulphur-free technology. All new pulping processes intend to achieve a closed mill by direct recovery of the solvent after the cooking step by distillation and burning of the dissolved wood components or its alternative use as chemical feedstock for different products. Such a concept intends to solve the ecological problems of actual pulping processes as well as improves the economy of pulping.

In Table 2.47 those new pulping processes under development are selected which show a certain potential for industrial application and which have reached at least pilot plant scale [Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997]. The systems are compared in some different respects. Main process parameters and expected environmental impacts of the Organosolv processes are compiled. For comparison the tables include also some data on modified kraft pulping.

Pulping process	Raw materials	Cooking chemicals	Cooking process parameters	Kappa before bleaching
ASAM	Softwood Hardwood Annual plants	Sodium sulphite (alkaline) alcohol	175- 185°C 11 - 14 bar	13 - 20
FORMACELL	Softwood Hardwood Annual plants	Acetic acid Formic acid	160 - 180°C	2 - 10
MILOX	Hardwood Annual plants	Formic acid Hydrogen peroxide	60 - 80/ 90 - 110°C	30 - 35
Modified. SULPHATE	Softwood Hardwood Annual plants	Sodium hydroxide Sodium sulphide	155 - 175°C 8 bar	10 - 20

Table 2.47: Comparison of Organosolv pulping processes with modified kraft pulping Raw materials, cooking chemicals and conditions, achievable kappa after cooking [Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997]

The new pulping processes can be classified in organic acid based, alcohol/water based and mixed processes which are using inorganic and organic pulping chemicals.

Status of development: A recently published study on market chances of different Organosolv pulping processes in Germany [Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997] concluded that ASAM and Milox process is ripe for production but this is not confirmed on full-scale experiences till now. Formacell has not yet reached the stage that a full-scale mill could be built.

Since none of the proposed Organosolv processes has been implemented successfully in full scale (a full-scale Organocell plant in Kehlheim, Germany, had to be shut down after arising problems could not be solved) it is too early to make a conclusive judgement on the alternatives.

Environmental implications: For the new pulping processes information on the environmental impact is fragmentary and is mainly derived from pilot-scale. Whether the advantages can all be achieved in full-scale plants is to a certain extent doubtful or at least not proven.

Economic considerations: In Organosolv pulping, much more costly organic solvents replace water. In most processes the liquor ratio is increased and in addition the solvents are used in pulp washing. The economy of these processes depends largely on the recovery rate of the solvent, which should exceed 99 %. A requirement, which in the development of many processes has been underestimated, is the availability of reliable and proven technology. Pulp mills are highly capital intensive and the risk of a new process implementation has to be minimised.

Literatur: [Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997], [Young, 1998]

3 THE SULPHITE PULPING PROCESS

The production of sulphite pulps is much smaller than the production of kraft pulps and sulphite pulps are more used in special purposes in papermaking rather than being an alternative market pulp grade for kraft pulps. Very little unbleached sulphite pulp is made and the yield is a little higher which can be attributed to the lower pH in the cooking.

The main reasons of more limited applicability of sulphite pulps are as follows:
- it is not possible to use pine as raw material in the acid cooking process which limits the raw material base of sulphite pulping
- the strength properties of the pulps as measured by the papermaker are generally not as good as those of kraft pulp, although for some speciality pulps these properties may be equally good or even better
- environmental problems have in many cases been more expensive to solve and this has decreased the cost-competitivity compared to the kraft pulping (e.g. pH-regulation of evaporation condensates, minimisation of sulphur emissions and removal of organic compounds).

The sulphite process is characterised by its high flexibility compared to the kraft process, which is a very uniform method, which can be carried out only with highly alkaline cooking liquor. In principle, the entire pH range can be used for sulphite pulping by changing the dosage and composition of the chemicals. Thus, the use of sulphite pulping permits the production of many different types and qualities of pulps for a broad range of applications. The sulphite process can be distinguished according to the pH adjusted into different types of pulping the main of which realised in Europe are compiled in Table 3.1.

Process	pH	Base	Active reagent	Cooking temperature °C	Pulp yield %	Applications
Acid (bi)sulphite	1-2	Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}	SO_2*H_2O, H^{+}, HSO_3^{-}	125-143	40-50	Dissolving pulp, tissue, printing paper, special paper
Bisulphite (Magnefite)	3-5	Mg^{2+}, Na^{+}	HSO_3^{-}, H^{+}	150-170	50-65	printing paper, tissue
Neutral sulphite (NSSC)[2]	5-7	Na^{+}, NH_4^{+}	HSO_3^{-}, SO_3^{2-}	160-180	75-90	Corrugated medium, semi-chemical pulp
Alkaline sulphite	9-13.5	Na^{+}	SO_3^{2-}, OH^{-}	160-180	45-60	Kraft-type pulp

Table 3.1: Main sulphite pulping processes in Europe
According to [Uhlmann, 1991]

The sulphite cooking process is based on the use of aqueous sulphur dioxide (SO_2) and a base - calcium, sodium, magnesium or ammonium. The specific base used will impact upon the options available within the process in respect of chemical and energy recovery system and water use. Today, the use of the relatively cheap calcium base is outdated because the cooking chemicals cannot be recovered. In Europe there is still one mill (FR) using ammonium as a base. The dominating sulphite pulping process in Europe is the magnesium sulphite pulping

[2] Neutral Sulphite Semi Chemical (NSSC) is the most common type of semichemical pulp which is produced by a combination of chemical and mechanical pulping. Wood can be used without prior debarking. In the process wood chips are partially digested to weaken the bonds between fibres and lignin. The chips are then mechanically treated in a refiner. Some stand alone plants in Europe have no recovery of chemicals while some mills practice "cross-recovery" in which spent liquor is burnt in an adjacent Kraft pulp mill recovery boiler.

with some mills using sodium as base. Both magnesium and sodium bases allow chemical recovery. The lignosulphonates generated in the cooking liquour can be used as a raw material for producing different chemical products. Because of its importance in terms of capacity and numbers of mills running in Europe in the following the focus is on magnesium sulphite pulping.

3.1 Applied processes and techniques

Sulphite pulping consists of three main entities: the fibre line, recovery of chemicals and energy (excluding calcium sulphite pulping where recovery is not possible but where the spent cooking liquor can be evaporated and the components used for other purposes) and external wastewater treatment. As in kraft pulping some auxiliary systems like reject handling, manufacturing of bleaching chemicals and auxiliary power generation are connected to the main departments.

In many respects the kraft and sulphite processes have similarities not least regarding the possibilities of taking different internal and external measures to reduce emissions to environment. Due to this number of similarities only some process steps of sulphite pulping technology are discussed in detail. For process steps of which the principals are same or which are even identical to kraft pulping it is referred to the corresponding paragraphs. This is true for

- Wood handling (see Section 2.1.1 to - 2.1.3)
- Washing and screening (Section 2.1.5)
- Bleached stock screening (Section 2.1.8)
- Drying (Section 2.1.9, only for market pulp).

For these chapters only some remarks are given to what extent sulphite pulping differs from the situation described for kraft pulping. Apart from that, we focus on differences between kraft and sulphite pulping and on *magnesium* sulphite pulping as this is the main sulphite process currently practising within Europe.

The major differences between the two chemical pulping processes from an environmental point-of-view are to be found in the chemistry of the cooking process, the chemical recovery system and less bleaching sequences required because of better initial brightness of sulphite pulp. Furthermore, the sulphite process does enjoy less of an inherent odour problem compared to the kraft process, which tends to be surrounded by unpleasant odours in the neighbourhood of the mill. These differences result in different emission ranges and some differences concerning the abatement techniques applied.

The main unit processes of manufacturing of magnesium sulphite pulp are shown in Figure 3.1.

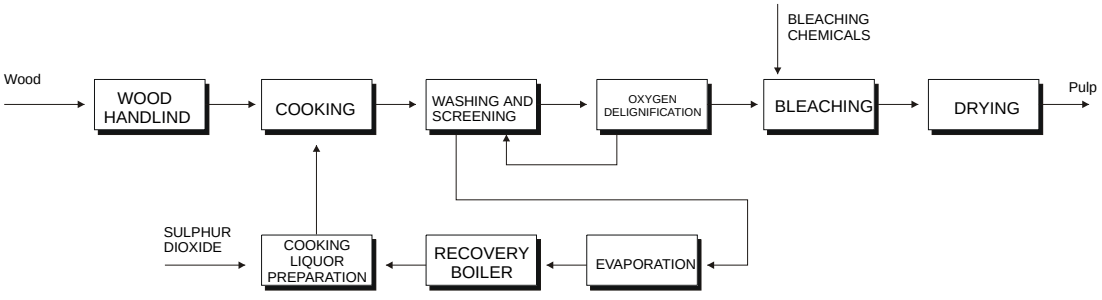


Figure 3.1: Main unit processes of manufacturing of magnesium sulphite pulp [CEPI, 1997b]

A sulphite pulp mill includes usually the production unit's wood room, digester house, wash room, screening room and bleach plant. Raw-water treatment, bleaching chemicals preparation, drying machine (optional), recovery system and a boiler house.

3.1.1 Woodhandling

The wood raw material consists usually of roundwood and sawmill chips. Debarking is needed when wood is delivered to the mill as unbarked roundwood. A certain amount of wood can be delivered as woodchips from sawmills. In debarking of pulpwood debarking takes place in drums where the contact between rolling logs and water debarks them. After debarking wood chips are produced from roundwood logs and they are screened and stored in big chip piles prior to feeding in the next process stage. Sawmill and other off-site chips require only screening and storage in the woodhandling.

Bark and screening rejects from chipping and chip screening are excess solid wastes generated in this process stage. Most of them are usually collected, dewatered and incinerated for energy recovery in a special bark and wood waste boiler (see 4.3.11).

3.1.2 Cooking and delignification of unbleached pulp

In the manufacturing of conventional unbleached pulp the lignin is extracted from the wood using a concentrated cooking liquor with magnesium sulphite and magnesium bisulphite as active constituents. In the cooking stage the wood chips and the liquors are charged into a batch digester where the cook is carried out in elevated temperature and pressure. When a desired residual lignin content (measured as kappa number) is reached, the contents are discharged to a blow tank and the cooking cycle is repeated. Batch digester plant consists of a series of batch pressure vessels, which are operated according to a certain cooking program. Cooking can also be carried out in a continuous digester, but this has been practised with sulphite pulping much less than with kraft pulping (the principles are same and it is referred to the Section 2.1.4). In the magnefite process (see 3.1.7) the delignification of softwood (spruce) can be brought down to a kappa number of 21-23 in order to maintain acceptable pulp strength properties. In acid sulphite cooking common kappa numbers are between 14-22 for softwood and 10-20 for hardwood. The kappa number and can be further decreased before bleaching by an oxygen stage. Two stage sulphite cooking can bring the kappa number down to less than 10. Cooking can be extended further to produce a speciality pulp for dissolving uses but at the expense of yield.

From the digesters, the pulp is blown to blow tanks. From these tanks, the pulp is then pumped to the wash room.

3.1.3 Screening and washing of unbleached pulp

After the cooking the pulp is washed in drum washers or screw presses and screened with pressure screens and centricleaners. The objective of screening is to separate knots and fibre bundles from the main pulp stream with a series of vibrating equipment, filtration through pressure screens and centrifugal separation of fibres and other particles with different specific weights (see 2.1.5). The cooking liquor with its content of dissolved wood substance is separated from the pulp, and so-called spent liquor or weak liquor is obtained. Coarse reject and other reject from the screening are normally dewatered and burned in the boiler house. After screening, the pulp is bleached.

3.1.4 Oxygen delignification/bleaching

The distinction made here between delignification and bleaching is that effluents from a bleaching stage cannot be recirculated into the chemicals recovery system, whereas from delignification this is possible. Consequently oxygen can be used as delignification and bleaching chemical in the same mill.

Oxygen delignification for sulphite pulping is more rare than in kraft pulping where it is widely and increasingly used. However, there are a number of sulphite mills in Europe using this technique for further delignification thereby reducing the kappa number by about 10 units. This is mainly due to the fact that also without oxygen delignification only a short bleaching sequence is necessary to achieve full brightness of pulps. Furthermore for oxygen delignification a pressurised process is necessary and a base is needed to increase pH up to alkaline conditions. The chemical base used has to be compatible with the cooking chemicals i.e. for magnesium bisulphite MgO has to be used. Only in that case the organic material that is dissolved during oxygen delignification can be recovered and led to the chemical recovery system without major changes in the process. One mill in Germany has applied this technique thereby loosing some points of brightness.

It has however been shown to be possible to concentrate the effluent with ultra-filtration and burn the concentrate in the bark boiler. Measured as COD the reduction is about 50% of the discharges of organic substances from the oxygen stage.
Finally most sulphite pulp mills are producing TCF pulp.

3.1.5 Bleaching, screening and drying

Bleaching at sulphite pulp mills within Europe is carried out without the use of molecular chlorine and in many sulphite pulp mills chlorine dioxide is no longer used neither as bleaching chemical i.e. pulp manufactured is thus TCF-pulp (Totally Chlorine Free). Usually oxygen, sodium hydroxide and hydrogen peroxide are used as bleaching chemicals. EDTA is added as complex former (0.5 – 2 kg/t). The bleaching chemicals used are usually bought from external producers.

The bleaching of pulp increases primarily the brightness of pulp and secondarily it also removes non-fibrous particles and extractives from the pulp. Like in kraft pulping bleaching of sulphite pulp is based on lignin removing methods and it can be considered as continued and selective lignin removal stage.

The lignin removal by bleaching is carried out in a sequence of one or two bleaching stages where oxygen and peroxide is added. In a two stage bleaching sequence in the first place the pulp is heated up to 60-80°C and sodium hydroxide, oxygen and/or peroxide is added. The first bleaching stage reduces the residual lignin by 45-55%. The bleached pulp is then pumped to washing filters and sometimes lead to a twin wire press in order to reduce the carry-over of undesirable substances from the first bleaching stage and to further de-water the pulp. In several European sulphite mills (Ahlfeld, Ehingen, Stockstadt, DE; Gratkorn, AU) the second peroxide bleaching stage (EP) is carried out as high consistency bleaching (symbolic shorthand: EP(HC) = 35 – 40% DS). Advantages of HC bleaching are energy (steam) savings by high pulp density, lower COD emissions by soft bleaching conditions, low pulp losses in the bleaching stage and less consumption of bleaching chemicals. After the second bleaching stage the pulp is diluted with water and another washing takes place. In the sulphite process, the specific process heat and power demand for TCF bleaching are lower than those needed for ECF bleaching.

Major bleaching sequences applied in European sulphite pulp mills are compiled in Table 3.2.

Cooking techniques	kappa	Bleaching sequences	COD [kg/t]	Example mills
Magnefite process	21-23	EOP-Q-EP-EP (HC)	90-115	Gratkorn, AU
Magnefite process	21-23	EOP-Q-EP-EP	100-120	Mill 2, SE
Sulphite process	14-16	EOP-EP (HC)	50-60	Mill 3, DE
Sulphite process	12-15	EOP-Q-EP (HC)	45-60	Mill4, DE
Sulphite process	11-13	EOP-Q-EP-EP	35-45	Mill 5, AU
Notes: 1) The data are derived from personel communication. It can not be guaranteed that they are all reflecting the last developments.				

Table 3.2: Examples for different sequences for bleaching used in European sulphite pulp mills and the corresponding discharge of organic substances from the bleach plant measured as COD

After bleaching there is generally a final screening of pulp and the reject is burned in the boiler house. The pulp to be sold externally (if the pulp is not used for manufacturing of paper at the same mill site) is dried and the remaining pulp is pumped to the paper mill for the manufacture of different paper grades (fine paper, tissue etc.) paper. Sulphite pulp mills are mainly integrated mills manufacturing paper at the same site.

3.1.6 Chemicals and Energy Recovery System

The cooking chemical recovery includes evaporation of the spent liquor to concentrated liquor, combustion of the concentrated liquor and preparation of new cooking acid from recovered chemicals. The degree of liquor recovery is at least 97%.

The recovery of chemicals of the unit processes for unbleached pulp consists typically of the following major principles:

- Counter current washing and evaporation of weak cooking liquor
- Incineration of the concentrated liquors (bio-fuel) in a recovery boiler where substantial amount of energy can be produced for steam and power generation of the pulp mill.
- During the combustion, solid magnesium oxide (ash) and gaseous sulphur dioxide are formed. The magnesium oxide is separated from the flue gases in electrofilters and converted to magnesium hydroxide by dissolving in water.
- This slurry is used to absorb the sulphur dioxide and trioxide from the flue gases from the recovery boiler and the collected gases from digesters, washers and evaporators by use of multi-stage venturi scrubbers. The liquid from the flue gas purification is clarified (sedimentation or filtration) and reinforced with sulphur dioxide from either combustion of elemental sulphur in a sulphur burner or addition of liquid sulphur dioxide. The freshly formed cooking acid (magnesium bisulphite) is pumped into the digester house after separation of soot particles and other undissolved impurities.

An overview of the circuits of chemicals is presented in Figure 3.2 [BMU Austria, 1995] illustrating the main process steps and their functions.

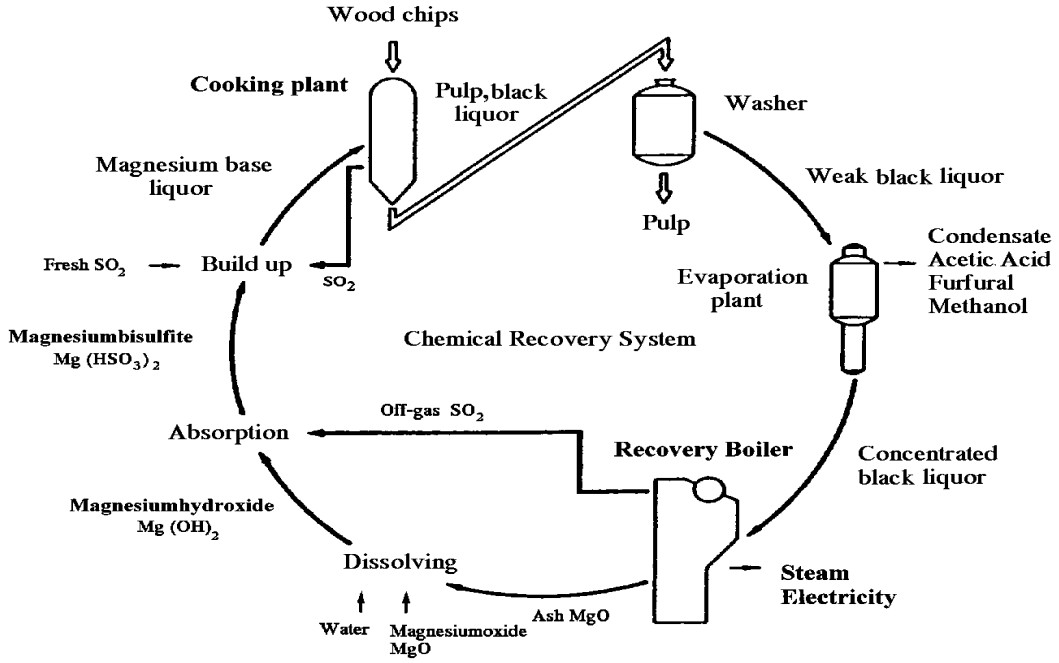


Figure 3.2: Recovery cycles for a sulphite mill

Magnesium based mills have difficulty in recycling water from associated stages where sodium hydroxide is used to control the pH. A key issue for sulphite mills is the separation of effluents containing different chemical bases. For instance, sodium hydroxide may be needed to achieve the required pH conditions in some brightening stages and measures. In that case it is not possible to lead the bleach plant effluents back to the recovery island because sodium has to be prevented from contaminating a magnesium based cooking process.

Besides the recovery of cooking chemicals the recovery boiler(s) produce steam. Often sulphite pulp mills operate auxiliary boilers burning bark, oil or other fuels. In these boilers, knots, rejects and sludge from the effluent purification may also be burned. The steam from the boilers is lead to counter-pressure turbines where electrical power is produced.

3.1.7 Magnefite process

The magnefite process is using a higher pH range, pH 3 – 5, than the acid sulphite process that is operated at a pH value of 1 – 2. This result in softer cooking conditions with increased pulp strength properties and slightly higher yield compared to the acid sulphite process. In Europe, for both process the predominantly base that is used is magnesium. There are two major technical differences to consider. In the magnefite process in the white liquor preparation a pH value of 4 can be achieved without SO_2-reinforcement measures. The operation of a pressure storage tank for sulphur dioxid is therefore not necessary. The SO_2 in the white liquor occurs in the bisulphite form. Then the other steps of pulp production are similar to the acid sulphite process. The kappa numbers of unbleached pulp after magnefite cooking are higher than after

acid cooking. With the magnefite process kappa numbers from 21 to 26 for paper pulp are achievable. Against that kappa numbers of 12 to 16 can be reached with the acid sulphite process (e.g. Hallein and Neusiedler, AU; Ahlfeld, Stockstadt and Ehingen, DE). As a consequence, the pulp bleachability of magnefite pulp is not as good as with acid sulphite pulp. Longer bleaching sequences are therefore necessary in order to achieve high brightness. This causes slightly higher loads of COD and BOD in the effluents from the bleaching stages. The magnefite process is operated in four paper pulp mills in Europe (Nymölla and Utansjo, SE; until 1999 Hundsfos, NO; Gratkorn, AU).

3.1.8 Neutral Sulphite Semi-Chemical Pulp

The most common type of semi-chemical pulp is the Neutral-Sulphite Semi Chemical (NSSC) pulp. The process is a combination of chemical and mechanical pulping and has a high yield. The pulp is mainly used to produce fluting, the inner part of corrugated board. The yield is about 80% for fluting. Wood can be used without prior debarking. In the process wood chips are partially digested to weaken the bonds between fibres. The chips are then mechanically treated in a refiner. Some of the stand alone plants have no chemical recovery. Cross recovery is used by very few mills in Europe.

3.1.9 Dissolving Sulphite Pulp

In Europe, there are very few companies manufacturing dissolving sulphite pulp. In principle, the process is very similar to the manufacturing of sulphite pulp used for paper manufacturing. The same chemicals are used as in the common magnesium-bisulfite process. Therefore, the chemicals and energy recovery system is very similar. The major differences can be found in cooking and bleaching. The aim of cooking in dissolving sulphite pulp manufacturing is to achieve a low viscosity i.e. a low length of the molecule chain of the cellulose. This is adjusted in the cooking plant. The similarities and differences are discussed in the following by use of an example.

In one of the European dissolving sulphite pulp mills (Austria, manufacturing of viscose fibres) the delignification of hardwood (beech) is brought down to a kappa number of 4 – 7 before bleaching. There are no effluents before the pulp enters the bleach plant. The bleaching sequence of the plant is carried out in three stages: OPE – Z – P (TCF bleaching).
In the first bleaching stage consisting of oxygen and peroxide delignification and alkaline extraction the kappa number is decreased to 2 and a α-cellulose content of 91% is achieved. Around 50 kg NaOH/t of pulp (oven dry) is used. The releases of this bleaching stage (COD load ca. 85 kg/t) are treated in an evaporation plant. The concentrates are incinerated in a so-called soda boiler. This eliminates the bulk of the pollution load from the bleach plant.
The second bleaching stage is using ozone as bleaching agent. The last bleaching stage is using peroxide which brings the kappa down to 0,5 (>90% ISO, α-cellulose content > 91%). The COD load from the second and third bleaching stage is 15 kg COD/t before treatment and is purified in a biological wastewater treatment (reduction rate > 90%).
Besides the bleach plant, the major source of water pollution is the condensates from the evaporation plant. The pulp mill of our example is extracting acetic acid and furfural as valuable products from the evaporator condensates thus reducing the COD load of the condendates by 75%. The remaining pollution load is 30 kg COD/t which is treated in the biological wastewater treatment (reduction rate > 90%) together with the other partial wastewater streams.

The initial pollution load of the wastewater from dissolving sulphite pulp mills depends on the amount of so-called α-cellulose to be achieved and on the applied internal measures for reduction of emissions. Higher α-cellulose content corresponds to higher product qualities. Higher α-cellulose content of the pulp means a higher dosage of NaOH. This result in lower

yields and higher pollution loads in water. For instance, the use of 90-100 kg NaOH/t of pulp to produce pulp with α-cellulose content of 92.5% would double the organic load in the effluents as mentioned above (and reduce the yield by 5%).
The manufacturing of dissolving sulphite pulp is a combination of delignification and finishing.

3.2 Present Consumption/Emission Level

3.2.1 Overview of input/ouput

An overview of the raw material and energy input as well as the output of products, by-products and the major releases (emissions, waste etc.) of the production of sulphite pulp is presented in Figure 3.3.

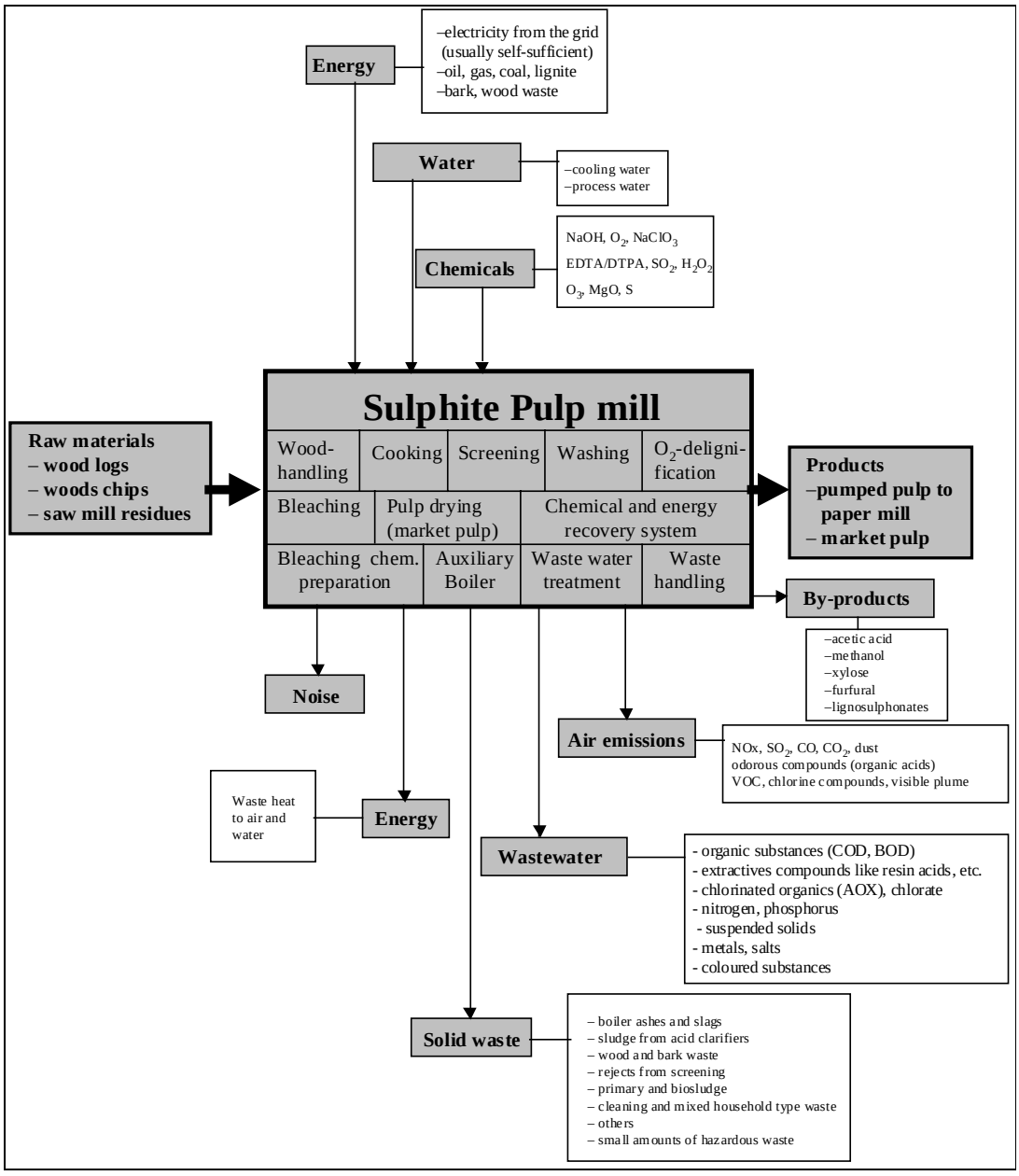


Figure 3.3: Mass stream overview of a sulphite pulp mill
The presence of some substances depend on the way of delignification and bleaching

The subsequent sections present specific consumption data, as well as specific emission data for individual operational steps associated with sulphite pulp manufacturing.
Using the mass stream overview, specific raw material consumption and specific emission per tonne of product can be calculated.

Table 3.3 shows yearly averages from six sulphite pulp mills in Germany. The data represent therefore not the whole range of emission levels. However, the can give an overview over the consumption and emission levels of present sulphite mills.

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Wood (oven dry)	2	t/ADt	Bleached pulp	1	ADt
SO_2 as S	32	kg/ADt			
MgO	24	kg/ADt	**Emissions**		
NaOH	27	kg/ADt	CO_2	No data	kg/ADt
O_2	13	kg/ADt	CO_2, regenerative	No data	kg/ADt
H_2O_2	26	kg/ADt	NOx	2.4	kg/ADt
DTPA	3	kg/ADt	CO	No data	kg/ADt
Energy			SO_2-S	1.75	kg/ADt
Oil	No data	MJ/t	Dust	No data	kg/ADt
Coal	No data	MJ/t	COD	34	kg/ADt
Natural gas	No data	MJ/t	BOD_5	1.7	kg/ADt
Purchased electricity	No data	kWh/t	Suspended solids	No data	kg/ADt
Total primary energy [1)]	**No data**	kWh/t	AOX	<0.01	kg/ADt
			N_{anorg}	0.4	kg/ADt
			Total Phosphor	0.06	kg/ADt
			Wastewater flow	70	m^3/ADt
Water demand			**Residues**		
Raw-/fresh water	70	m^3/ADt	Sludge (90% dry solids)	37	kg/ADt
			Other waste	No data	kg/ADt

Notes:
1) Air emission from purchased electricity is not included.

Table 3.3: Annual average specific input/output data from six integrated sulphite pulp and paper mills (different paper grades are produced) manufacturing about 850000 ADt/a (1996)

The data refer only to the pulp production i.e. paper production is not included. The data to emission to water represent the situation after biological treatment. The air emission data refer to situation after abatement. The data set is not complete.

3.2.2 Consumption and emission levels arising from process units

In sulphite pulping the wastewater effluents and the emissions to air are the centres of interest but in the next years waste might also become an environmental issue of concern. The most relevant consumption of raw materials and emissions to water, air and soil (waste) as well as energy aspects are discussed below covering the following aspects:

- Wood consumption
- Water consumption and wastewater emissions from different process steps
  - Woodhandling
  - Condensates from evaporators
  - Spillages
  - Washing losses
  - Bleaching
  - Discharges of nutrients
  - Discharges of metals
- Consumption of chemicals
- Energy demand
- Emissions to the atmosphere

  - from the recovery boiler
  - from auxiliary boilers
  - Odorous gases
  - Chlorine compounds from bleaching and bleaching chemical preparation (only for ECF)
- Solid waste generation
- Noise

Where data are available emissions to water, air or soil (waste) are given before and after external treatment.

As for the reported emission and consumption figures, it should be borne in mind that, due to the use of some different measurement methods in the various Member States, data are not always strictly comparable from country to country. (See Annex III for more information on this issue but the different methods used do not alter the conclusions drawn in this document).

3.2.2.1 Wood consumption

Soft wood mainly spruce and hardwood (mainly beech) can be used as raw material in the sulphite pulping process. Logging and sawmill residues can also be used. The use of wood and the yield for production of bleached pulp is dependent on the selectivity in delignification and bleaching. The wood required for manufacturing 1 tonne of bleached sulphite pulp is normally between 4.2 and 5.2 m^3 unbarked wood/ADt.

3.2.2.2 Water consumption and emissions

Figure 3.4 gives an overview about the main processes involved in sulphite pulping and the major sources of emissions (to water and air). The emissions to water originate from different process mainly washing losses, effluents from the bleach plant and condensates from the evaporation plant. They also include accidental spills.

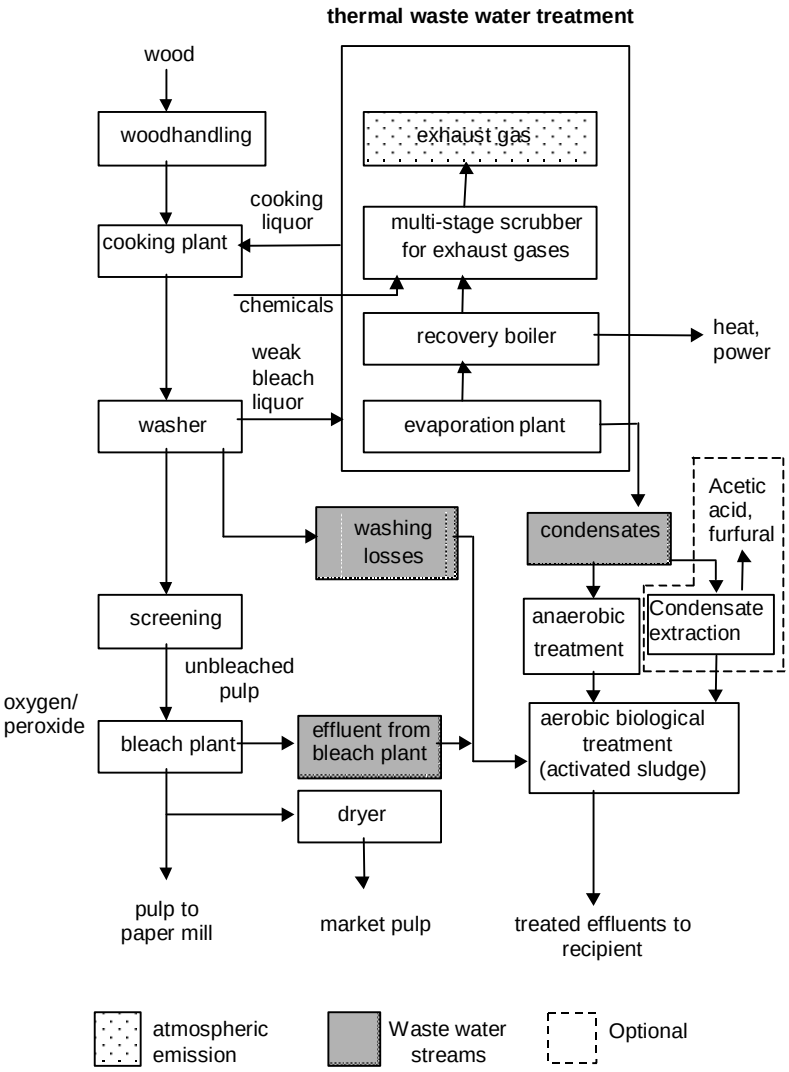


Figure 3.4: Main emissions to water and air from sulphite pulping

In the cook the delignification is brought down to a kappa number of about 14-22 for softwood and 10-20 for hardwood. The yield in the cook is somewhat higher than for kraft pulping. As a consequence the amount of wood, mainly hemicelluloses, dissolved out in the open part of the process (after brown stock washing) is comparatively high in alkaline bleaching stages and can amount up to 40-50 kg COD/t. The specific wastewater volume of the bleach plant in better performing mills is in the range of 15 - 25 m^3/ADt.

It is important to neutralise sulphite liquor before evaporation. Otherwise acetic acid will be evaporated and turn up in the condensates instead of being led to the recovery boiler. The COD load in condensates is normally much higher at sulphite pulp mills compared to kraft mills as stripping is not a normal practice. The total load in condensates is up to 60 - 70 kg of COD/t. The differences between softwood and hardwood are quite small. Stripping and anaerobic treatment are possible options. As for kraft pulping most of the contaminants are readily degraded in a biological treatment plant.

Generally, the data available for sulphite pulping are much more limited than on kraft pulping. However, from available information it can be derived that total emissions of organic substances (measured as COD) before treatment vary between 80 and 200 kg/t. Available data

indicate that the total effluents from modernised sulphite pulp mills are 50 - 100 % higher than the one from modernised kraft pulp mills due to less closed processes.

Discharges after treatment are very different within Europe ranging for example from 10 up to 190 kg COD/ADT.

Sulphite pulp	Flow m^3/Adt	BOD_5 kg/Adt	COD kg/Adt	AOX kg/Adt	tot-P g/Adt	tot-N kg/Adt	TSS kg/Adt
Bleached and unbleached	40-100	0.5 - 75	10 – 190	0 - 1	15 - 150	0.18 - 1	**1.7 - 10**

Table 3.4: Reported spans in annual average discharges in kg/ADt from Mg-sulphite pulp mills after treatment within Europe

Typical values for water consumption for magnesium bi-sulphite pulping are in the range of 40 - 100 m^3 water per ADt of pulp.

A dissolving sulphite pulp mill (Lenzing AG, Austria, production of dissolving pulp for viscose fibres) reported the pollution loads before and after treatment as shown in Table 3.5.

COD load before biological treatment	Emissions to water after biological treatment
Woodyard : ca. 1 kg/t	COD: 4 –5 kg/t
Bleaching (1^{st} & 2^{nd} stage): ca. 15 kg/t	BOD_5: not detectable
Evaporator condensates: ca. 30 kg/t	TSS: 0.4 – 0.5 kg/t
Total load: ca. 46 kg/t	AOX: < 0.01 kg/t
Total flow: ca. 40 m^3/t	Total P: < 0.1 kg/t
	Total N: <0.2 kg/t
Explanatory notes: The example stands for a mill that has carried out possible process-integrated measures as described in Section 3.1.9 in order to reduce the releases to water. The wastewater from the first bleaching stage is evaporated and incinerated, acetic acid and furfural are extracted from the evaporator condendates. The remaining wastewater is treated in an activated sludge plant followed by a filtration step in order to reduce suspended solids, P and N.	

Table 3.5: Specific emissions to water of an integrated dissolving sulphite pulp mill (and viscose fibre) before and after biological treatment [personnel communication, 1998]

Table 3.6 shows the discharge of metals to the recipient. The results are based on sampling (random sampling once per day) during a 5-day period in September 1996. The random samples were mixed in proportion to the flows to give a combined sample which was analysed with regard to cadmium, chromium, copper, nickel, lead and zinc. The analysis of the metals was made by plasma mass-spectrometry (ICP-MS). Compared with 1995 the amount of cadmium, chromium, copper, nickel and lead are ca. 50 % higher. The amount of zinc is ca. 10 % higher.

Metal	Concentration [mg/m^3]	Specific load [g/t]
Cadmium	1.37	1
Chromium	5.5	4.4
Copper	9.3	7.4
Nickel	12	9.6
Lead	9.4	7.5
Zinc	144	115.2

Table 3.6: Discharge of metals from a Swedish partly integrated sulphite pulp mill in 1996 (Analysis of a combined sample consisting of 5 random samples taken during five days, 1 random sample/day); water flow about 80 m^3/t

3.2.2.3 Consumption of chemicals

Consumption of chemicals varies from mill to mill and is to a certain extent regarded as confidential. However, the consumption of main chemicals is reported as typically being as follows.

Chemicals used for bleached Mg-sulphite pulp production	Amount [kgADt]
NaOH	10-40
O_2	5-15
H_2O_2 (100%)	10-40
EDTA or DTPA	0-3
O_3 [1]	0-5
S (some mills use either S or SO_2)	20-40
SO_2 (some mills use either S or SO_2)	0-70
MgO	15-25
Note: 1) Normally not used in sulphite pulp mills. However, in Europe one mill that is manufacturing dissolving sulphite pulp has implemented an ozone bleaching stage	

Table 3.7: Consumption of main chemicals in sulphite pulp production

A Swedish magnefite pulp mill producing bleached pulp for fine paper manufacturing reported a chemical consumption per tonne of pulp as sodium hydroxide 50 kg, oxygen 14 kg, EDTA 1.76 kg and hydrogen peroxide 37 kg. The bleaching sequence is (E + O) Q (E + O + P). The kappa number after cooking was on average for hardwood pulp 22 and for softwood pulp 22.

A German acid sulphite mill reported a consumption of make-up cooking chemicals of 30 kg SO_2/ADt and 15 - 20 kg MgO/ADt supposing SO_2 - losses of 2- 3 kg/ADT via the stack. The same mill uses for the two-stage peroxide bleaching of 1 tonne of air dry pulp 20 - 25 kg peroxide and 25 - 35 kg sodium hydroxide.

Most of the chelating agents used are washed out of the pulp and are discharged to wastewater. Because in most mills the Q-stages are led to wastewater treatment (to a minor extent partial streams are send to the recovery boiler) most of this chemicals will end up in the recipient.

3.2.2.4 Emissions to the atmosphere

Sulphur emission levels from existing sulphite mills and the potential of further reductions are highly mill dependent. Due to differences between different sulphite process the values might show higher variations than in kraft pulp mills. But of course, they also depend significantly on the collection and abatement systems used for treatment of gaseous emissions. Depending on local conditions the following devices and systems can be found in sulphite pulp mills for collecting and purifying emissions to the atmosphere:

- Cyclone for chip blowing
- The gases from the continuous pressure control relief of the digesters are led to combustion in the recovery boiler.
- Collecting system for aerating gases from digesters, blow tanks, knot screens, washing filters, all weak and thick liquor tanks and fibre filters. These gases are led to combustion in the recovery boiler
- Scrubbers for the absorption of sulphur dioxide in aerating gases from the bleach plant.
- Non-condensable gases from the evaporation are led to combustion in the recovery boiler.
- Absorption of SO_2 in the flue gases leaving the recovery boilers in the acid preparation plant (venturi-scrubber system).
- Collection system for ventilation gases from the boiler house's liquor and condensate tanks, weak liquor filter and mix tank. The gases are led to combustion in the recovery boiler.
- Dust separation from flue gases from the auxiliary-boiler (burning bark, oil or other fuels) with electrofilter (ESP) and wet scrubber.
- NOx-reduction in the bark boiler by injection of urea.

In a magnesium sulphite mill the main source for sulphur oxide emissions is the recovery boiler. After the recovery boiler, magnesium oxide ash is collected from the flue gas in electrostatic precipitators and washed with water forming magnesium hydroxide. This liquid is used in venturi scrubbers to absorb SO_2 and SO_3 from the recovery boiler (and in a few mills also from the digesters, washers and evaporators). The absorption system is made up with a number of scrubbers, normally three, four or five. Emissions are about 4 - 6 kg SO_2 per tonne of pulp when three scrubbers are used and 2 - 3 kg/t when four are used. Each scrubber reduces the concentration by about 70%.

There are also less concentrated SO_2 emissions from the bleach plant, the digesters, washing and the auxiliary boilers.

Emissions of NO_x from sulphite pulp mill recovery boilers are generally higher than those from kraft pulp mills because of the higher temperature in the recovery boiler. NO_x emissions range normally from 100 - 200 mg/MJ or about 1.5 - 3 kg/t of pulp. Table 3.8 summarises typical ranges for SO_2 and NO_x from recovery boilers.

Unit	S	NO_x
kg/t (mg/m^3)	0.5 - 3 (100 - 400)	1.0 – 3 (200 - 500)

Table 3.8: Emissions from sulphite pulp recovery boilers in kg/t and corresponding concentrations in brackets (mg/m^3) at a gas flow of about 6000 - 7000 m^3/t (NTP, dry gas)

Besides the recovery boiler there are emissions to air from other combustion processes for steam and power generation. Different types of fuels may be used for steam generation. Usually sulphite mills are operating a bark boiler where bark, rejects, knots, fibre and bio-sludge is incinerated as well.

Emissions of malodorous gases in sulphite pulping are normally limited compared to kraft pulping. However, emissions of furfural mercaptanes and H_2S might cause odour and emissions of gaseous sulphur may also cause annoyance. At some mills emissions of malodorous gases are collected and burnt in the recovery boiler.

The reported ranges of total emissions to the atmosphere from European sulphite pulp mills are shown in Table 3.9.

	Total gaseous S [kg/ADt]	**NO_x [kg/ADt]**
Recovery boiler	0.5-5	1-3
Bark boiler	0.02-0.06*	0.1-1*
Total emissions from mills	0.55-5*	1.2-4.2*
* For the bark boiler estimated figure. Any use of fossil fuel in the bark boiler is not included		

Table 3.9: Atmospheric emissions from European sulphite pulp mills as yearly average

Emissions of VOC from the process are about 0.2 kg/t of sulphite pulp. The chip-heaps also contribute to emissions of VOC.

3.2.2.5 Solid waste generation

The production of sulphite pulping is related to the generation of different types of manufacturing specific wastes from which most can be utilised. The wastes arise from different stages of the production process such as debarking, chipping, screening, clarification of the cooking liquor, maintenance as well as from treatment of raw and wastewater. A German sulphite pulp mill reported the following main fractions of waste including some options for further treatment. The latter depend usually strongly on the local conditions.

Waste from the production of sulphite pulp				
EWC-Code[3]	**Description**	**Originate**	**Amount**	**Possible disposal route**
17 04 05	Scrap (steel tapes, part of equipment etc.)	Packaging of logs, maintenance of installations	2.8 kg/t	Utilisation as material
03 03 01	Bark	Debarking plant	90 kg/t	Utilisation as fuel
-	Sawdust	Woodhandling	30-50 kg/t	Production of chip boards
-	Rejects from coarse screening	Screening	23 kg/t	Utilisation as fuel
-	Rejects from fine screening (chips, knots, bark, fibres, sand)	Screening (0.5-1% losses)	8 kg/t[1]	Utilisation as fuel, brickwork's
03 03 06	Sludge from pulp production	Mechanical and biological treatment of process water, recovery of chemicals	80 kg/t	Recultivation of landfills, brickwork's
20 03 01	Mixed municipal waste	Operation of installations	0.4 kg/t	Sorting, utilisation as material or fuel
13 02 02	Oil waste	Maintenance	0.03 kg/t	Utilisation as material or fuel

Note:
1 The reference did not qualify the dray solid content. It seems that the figure above includes more than 50% of water. Normally, a value between 20-25 kg/ADt dry solids for primary and secondary sludges seems reasonable, whe activated sludge is applied.

Table 3.10: Example for waste generated in production of sulphite pulp [German mill, reference year: 1996]

Beyond that, the following types of waste have to be considered: Ash and cinder from energy extraction (combined burning of bio-fuel and fossil fuel); wood-room waste (sand etc.); ash and cinder from the recovery boilers; sand from fluidised bed boiler (if operated); in case of integrated pulp mills residues from the paper mill. Wood waste as bark, chips, sawdust, knots etc. is often burned on-site. Ashes from recovery boiler and bark boilers are partly used for other purposes. Furthermore sludge from clarification of the cooking liquors and base tanks is generated.

In Sweden by order of the Government the National Board of Forestry trials with addition of lime and vitalising agent in the forest are running. The purpose is to develop and test different additive and working methods in co-operation with the industry concerning the use of bark ash as vitalising agent. In the future it might be necessary to add vitalising agent in a more extended way to the forest in order to neutralise the acid rain.
A German sulphite mill using surface water reported significant amount of sludge from raw water treatment (flocculation) amounting to 50 kg/ADt.

The spans of waste from sulphite pulping to landfill in Europe are about 30 - 50 kg organic waste in DS/t of pulp and 30-60 kg inorganic waste in DS/t of pulp. Organic waste consist of wood residues, bark, pulping rejects and wastewater sludge [J. Pöyry, 1997]. If the organic waste is incinerated in dedicated incinerators there is virtually no organic waste to be landfilled. In an integrated sulphite pulp mill that is incinerating all organic residues on-site (bark, wood waste, sludge from biological treatment) the amount of waste is reported as 3.5 kg DS/Adt (100%DS). The ash from the incineration process can be utilised in different manners as e.g. in cement indutry (reference: Gratkorn, AU).

[3] The EWC is a harmonised, non-exhaustive list of wastes, that is to say, a list which will be periodically reviewed and if necessary revised in accordance with the Committee procedure. However, the inclusion of a material in the EWC does not mean that the given material is a waste in all circumstances. The entry is only relevant when the definition of waste has been satisfied [IPTS, 1997].

3.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden

In diesem Abschnitt sind alle **relevanten** Techniken aufgeführt, die gegenwärtig sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen für die Vermeidung von Emissionen/Abfall und für die Reduzierung von Energie- und Rohstoffverbrauch verfügbar sind. Diese Liste von Techniken ist nicht erschöpfend und kann bei der Überarbeitung dieses Dokuments fortgeführt werden. Diese Techniken betreffen prozessbezogene und Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen und stellen Verbesserungsmöglichkeiten dar, die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung zu erreichen.

Tabelle 3.11 bietet einen Überblick über die Techniken zur Reduzierung der Emissionen aus der Herstellung von Sulfitzellstoff. Die einzelnen verfügbaren Techniken sind jeweils in einer Tabellenreihe zusammengestellt.

Es wurde versucht, in derselben Tabelle zu jeder Technik mögliche Verlagerungseffekte anzugeben. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, die Verlagerungseffekte so zu beschreiben, dass keinerlei kontroverse Diskussion ausgelöst wird. Bei der Bewertung der Verlagerungseffekte gibt es eine Vielzahl von Grauzonen. Weiterhin können sie von anderen Techniken abhängen, die mit der gegebenen Maßnahme zusammenhängen, vom Bezugspunkt, mit dem eine Technik verglichen wird, und von den betrachteten Systemgrenzen. Deshalb sollte die qualitative Bewertung der Verlagerungseffekte nur als Orientierungshilfe für Betreiber und Aufsichtsbeamte verstandenen werden. Sie nennt die Nebenwirkungen, die mit einer Maßnahme möglicherweise verbunden sein können und ist nicht mehr als der Ausgangspunkt für die Betrachtung von Verlagerungseffekten. Die Ergebnisse der Bewertung sollten nicht als zwingend angesehen werden. Weiterhin können einige der Verlagerungseffekte durch die Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vermieden werden. Neben anderen Aspekten hängen die Verlagerungseffekte auch von den spezifischen Verhältnissen jeder Fabrik ab. Deshalb kann eine generelle Aussage schwerlich getroffen werden. Allerdings dürfte die Tabelle aufzeigen, auf welche Umweltmedien (Wasser, Luft, Abfall und Energie) die jeweilige Maßnahme abzielt. Die entsprechenden Abschnitte zu der detaillierten Darstellung jeder Technik liefern weitere Erklärungen.

In den Spalten wird durch die nach oben und nach unten gerichteten Pfeile ("↑" und "↓") die Tendenz der Auswirkungen angedeutet, die durch die verschiedenen Techniken hinsichtlich Emissionen, Rohstoffverbrauch und Betriebsverhältnissen in der Fabrik ausgelöst wird. Nach unten gerichtete Pfeile "↓" weisen auf Einsparungen bei Rohstoffverbrauch und Energieeinsatz und auf Reduktionen von Emissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden hin. Nach oben gerichtete Pfeile "↑" deuten auf eine Erhöhung der Emissionen, des Verbrauchs an Rohstoffen und Energie sowie auf Auswirkungen auf den Produktionsprozess hin. Einige der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung betreffen gleichzeitig mehr als ein Umweltmedium (Wasser, Luft oder Boden). Einige Techniken können eine positive und/oder negative Auswirkung auf andere Umweltmedien oder auf den Rohstoff- und Energieverbrauch haben (Verlagerungseffekte). Die auftretenden Auswirkungen werden mit den Pfeilen ausgedrückt. Bei der Einführung einer bestimmten Maßnahme bedeutet ein in Klammer gesetzter Pfeil "(↑)" eine leichte, oft vernachlässigbare Erhöhung des Rohstoff- und Energieverbrauchs oder von Emissionen in die Umwelt. Die wirtschaftlichen Aspekte (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Tabelle nicht enthalten, werden aber im Text erklärt. Die Angaben zur Wirtschaftlichkeit können nur ein ungefähres Bild liefern und deuten so die Größenordnung der Kosten an. Sie variieren mit der Konzeption der gesamten Anlage und hängen unter anderem von der Größe der Fabrik und der Verträglichkeit der Maßnahme mit anderen Anlagenteilen ab.

Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden	Auswirkungen auf das Verbrauchs- und Emissionsniveau (Verlagerungseffekte)				
	Chemikalien-verbrauch	Energie-verbrauch	Abwasser-emissionen	Abgas-emissionen	Fester Abfall
Trockenentrindung (siehe 2.3.1)	O	↑ Entrinden	↓ CSB, ↓ abf. St. ↓ Menge	O	O
Verlängertes Kochen hin zu niedriger Kappa-Zahl Kontinuierlich (a) oder diskontinuierl. (b)	↑ Kochen ↓ Bleichen	(↑/↓) Kochen ↑ Eindampfung	↓ CSB	O	O
Delignifizierung mit Sauerstoff	↑ in der O_2-Stufe ↓ Bleichen	↑ in der O_2-Stufe ↓ Bleichen	↓ CSB	O	O
Sortieren im geschlossenen Kreislauf (siehe 2.3.3)	O	O	↓ CSB	O	O
Effizientes Waschen und Prozesskontrolle (siehe 2.3.10)	↓ Bleichen ↓ Kochen	↑ Waschen (elektr.)	↓	O	O
Sammlung nahezu aller Leckagewasser (siehe 2.3.9))	O	↑ Eindampfung	↓	O	O
TCF-Bleiche (vs. ECF-Bleiche) (bei gleicher Kappa-Zahl am Anfang)	↓	(↑/↓)	(↓ CSB), ↓ AOX, ↑ N Kompl.bild n.	↓	O
Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage und erhöhte Eindampfung	↑ Bleichen	↑ Eindampfung	↓	O	O
Kreislaufschließung in der Bleichanlage in Natriumsulfitzellstofffabriken	↓	↓	↓	O	O
Neutralisation der Schwachlauge vor der Eindampfung	↑	O	(↑/↓)	↓	O
Separate Behandlung der Kondensate oder Wiederverwendung im Prozess	O	↓	↓	O	O
Puffertanks für konzentrierte Prozessteilströme (siehe 2.3.12)	O	O	↓	O	O
Biologische Abwasserbehandlung (siehe 2.3.13)	↑	↑	↓	(↑/↓) Geruch	Schlamm-verbren. ?
Einsatz eines Elektrofilters und eines mehrstufigen Wäschers beim Laugen-Rückgewinnungskessel	↓	↓	O	↓	O
Erfassung und Verbrennung von geruchsbelasteten Gasen im Laugen-Rückgewinnungskessel und/oder Behandlung in einem Venturiwäscher	O	↑	O	↓	O
Emissionsoptimierter Laugen-Rückgewinnungskessel	O	O	O	↓	O
Einsatz eines Hilfskessels mit niedrigen NO_x-Emissionen (siehe 2.3.20)	O	O	O	↓ NO_x	O
Einsatz der Technik der selektiven nicht-katalytischen Reduktion bei Rindenkesseln (siehe 2.3.21)	↑ Harnstoff	↑ System zur Erfassung und Ableitung	O	↓ NO_x	O
Elektrofilter beim Rindenkessel (siehe 2.3.24)	O	↑ Stromverbrauch	O	↓ Staub	O
Energieoptimierte Verbrennung der Rückstände mit Energierückgewinnung	O	↓ Wärmerück-gewinnung	O	(↑/↓)	↓
Legende/Fußnote: ↑ = Erhöhung; ↓ = Reduktion; 0 = keine (oder vernachlässigbare) Auswirkung. (↑/↓) = kann oder kann keine Auswirkung haben/geringe Auswirkung in Abhängigkeit von den gegebenen Bedingungen					

Tabelle 3.11: Übersicht über verfügbare Techniken für die Sulfitzellstoffherstellung und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb

Die Techniken zur Vermeidung und Verminderung der Emissionen aus der Herstellung von Sulfatzellstoff ähneln den verfügbaren Maßnahmen, die in Sulfitzellstofffabriken eingesetzt werden können. Deshalb werden zur Vermeidung von Wiederholungen die Techniken für Sulfitzellstofffabriken, die bei der Festlegung der BVT betrachtet werden sollen, in vier verschiedene Gruppen eingeteilt.

Gruppe 1: Da sich die Herstellung von Sulfit- und Sulfatzellstoff einander ähnelt, gelten eine Reihe der für die Sulfatzellstoffherstellung beschriebenen Techniken in den meisten Punkten auch für die Sulfitzellstoffherstellung. Es wird davon ausgegangen, dass dies für die nachfolgend aufgelisteten Techniken der Fall ist. Für diese Techniken wird direkt auf die entsprechenden Abschnitte des Kapitels über die Sulfatzellstoffherstellung verwiesen.

- Trockenentrindung (siehe Abschnitt 2.3.1)
- Sortieren im geschlossenen Kreislauf (siehe Abschnitt 2.3.3)
- Sammlung nahezu aller Leckagewasser (siehe Abschnitt 2.3.9)
- Effizientes Waschen und Prozesskontrolle (siehe Abschnitt 2.3.10)
- Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen in Hilfskesseln (Rinde, Kohle, Öl) (siehe Abschnitt 2.3.20)
- Elektrofilter zur Reduzierung der Staubemissionen aus Rindenkesseln (siehe Abschnitt 2.3.24 zu Rindenkesseln)
- Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen (siehe Abschnitt 2.3.12)
- Aerobe biologische Abwasserbehandlung (siehe Abschnitt 2.3.13)
- Dritte Stufe zur Abwasserbehandlung mittels chemischer Fällung (siehe Abschnitt 2.3.14)

Gruppe 2: Zwischen den Verfahren zur Herstellung von Sulfat- und Sulfitzellstoff bestehen bestimmte Unterschiede, die folgende Techniken betreffen:

- Verlängertes und modifiziertes Kochen hin zu niedriger Kappa-Zahl (diskontinuierlich und kontinuierlich) (siehe Abschnitt 2.3.2)
- Delignifizierung mit Sauerstoff (siehe Abschnitt 2.3.4)
- Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche) (siehe Abschnitt 2.3.7)
- Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage in Verbindung mit erhöhter Eindampfung (siehe Abschnitt 2.3.8)
- Strippung der am stärksten belasteten Kondensate und Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess (siehe Abschnitt 2.3.11)
- Erhöhung des Feststoffgehaltes der Schwarzlauge (siehe Abschnitt 2.3.15)
- Einbau von Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel (siehe Abschnitt 2.3.16)
- Erfassung von niedrig belasteten Gasen zur Verbrennung im Laugen-Rückgewinnungskessel (siehe Abschnitt 2.3.17)
- Bleichen mit Ozon (siehe Abschnitt 2.3.5)

Obwohl die Techniken im Prinzip sehr ähnlich sind, gibt es zwischen Sulfatzellstoff- und Sulfitzellstofffabriken wesentliche Unterschiede. Diese Unterschiede betreffen hauptsächlich technische Lösungen im Detail, erreichbare Kappa-Zahlen, die ein Maß für den Restligningehalt sind, Bleichabfolgen und der Chemikalienverbrauch dafür, flüchtige organische Stoffe in belasteten Kondensaten etc.. Zu diesen Gruppen werden weniger Angaben gemacht.

Gruppe 3: Einige Techniken für die Sulfatzellstoffherstellung sind für Sulfitzellstofffabriken nicht relevant, wie z.B.:

- Erfassung und Verbrennung von übel riechenden Gasen im Kalkofen (siehe Abschnitt 2.3.18)
- Einbau einer verbesserten Kalkschlammwäsche bei der Rekaustifizierung (siehe Abschnitt 2.3.23)
- Technik des elementarchlorfreien Bleichens (ECF-Bleiche) (siehe Abschnitt 2.3.6)
- Elektrofilter zur Reduzierung der Staubemissionen aus dem Kalkofen (siehe Abschnitt 2.3.24 bezüglich dem Kalkofen)
- Verbrennung von übel riechenden Gasen in einem separaten Ofen mit Abgaswäscher (siehe Abschnitt 2.3.19)

Gruppe 4: Schließlich sind einige zusätzliche Techniken zu erwähnen, die nur in Sulfitzellstofffabriken einsetzbar sind und für Sulfatzellstofffabriken überhaupt nicht relevant sind.

- Neutralisation der Schwachlauge vor der Eindampfung mit anschließender Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess oder ihrer anaeroben Behandlung
- Reduktion der SO_2-Emissionen aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel durch Einsatz von Elektrofilter und mehrstufigen Wäschern

Grundsätzlich gibt es für Sulfitzellstofffabriken weniger Informationen zu BVT als für Sulfatzellstofffabriken. Die meisten Abschnitte bedürfen der Vervollständigung und genaueren Bewertung. Allerdings können unter Berücksichtigung der vorliegenden Informationen und anderweitig verfügbaren Daten einige Techniken nachfolgend beschrieben werden. Allerdings hat die Beschreibung nicht den gleichen Detaillierungsgrad wie die entsprechenden Abschnitte im Kapitel über Sulfatzellstoff. Generell liegen zu Sulfitzellstofffabriken keine Angaben zu Kosten vor.

3.3.1 Verlängertes Kochen hin zu niedriger Kappa-Zahl

Es liegen keine weiteren Informationen vor als die bereits in Abschnitt 3.1.2 dargelegten.

3.3.2 Delignifizierung mit Sauerstoff

Es liegen keine weiteren Informationen vor als die bereits in Abschnitt 3.1.4 dargelegten.

3.3.3 Technik des total chlorfreien Bleichens (TCF-Bleiche)

Beschreibung der Technik: Seit Anfang der 90er Jahre ist die TCF-Bleiche das vorherrschende Bleichverfahren in europäischen Sulfitzellstofffabriken geworden. Es gibt in Europa keine Sulfitzellstofffabrik, die noch elementares Chlor als Bleichmittel einsetzt und die meisten Anlagen mit ECF-Bleiche sind durch TCF-Bleichabfolgen ersetzt worden. Die bestehenden Bleichanlagen sind durch Reorganisation und Umrüstung der Anlagen umgestellt worden. Bleichabfolgen unter Einsatz von elementarem Chlor wie z.B. C/D-E-D(E-D) sind schrittweise auf TCF-Bleichabfolgen umgestellt worden. Zunächst sind die Bleichstufen mit Elementarchlor weggefallen und ECF-Zellstoff hergestellt worden. Anschließend sind die Verfahren auf TCF-Bleichabfolgen (z.B. EOP-Q-EOP(-EP)) umgestellt und weiterentwickelt worden. Der Einsatz von Komplexbildnern in den Peroxidstufen und die Erhöhung der Konsistenz im Bleichturm machte die Herstellung von hochqualitativem TCF-Papierzellstoff möglich. Weitere Voraussetzungen für die TCF-Bleiche wie das verlängerte und gleichmäßige Kochen, hocheffiziente Waschprozesse und Erhöhung der Eindampfkapazitäten sind realisiert worden.

Ein Beispiel für die Prozessbedingungen einer typischen TCF-Bleichabfolge zur Herstellung von Sulfitzellstoff ist in Tabelle 3.12 dargestellt.

Parameter	O- oder EOP-Stufe	Saure Wäsche	EP oder EOP-Stufe(n)
Temperatur	65 – 75 °C	50 – 70 °C	65 – 80 °C
Druck	1 – 4 bar	-	1 – 2,5 bar
Konsistenz	10 - 14	3 – 5	14 – 40
Kappa-Zahl	21 – 24 → 11-13	-	→ 3 – 5
NaOH	15 -25	-	5 – 15
O_2	5 - 15	-	0 –7
H_2O_2	2 -10	-	10 – 25
EDTA	-	0,5 – 1,5	

Tabelle 3.12: Beispiel für die Bleichabfolge der TCF-Bleiche von Sulfitzellstoff

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Sie ist sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken (Umstellung) anwendbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Ableitung von chlorierten organischen Stoffen (gemessen als AOX) mit dem Abwasser wird beträchtlich von früher 4 - 8 (bis zu 12) kg AOX/t chlorgebleichtem Zellstoff auf unter 0,1 kg/t (keine Entstehung beim Bleichen) reduziert. Die Freisetzung von ausblasbaren oder flüchtigen chlorierten organischen Stoffen (POX) in die Luft wird von ca. 20 mg POX/t Zellstoff auf Null reduziert. Der hergestellte TCF-Zellstoff enthält kein organisch gebundenes Chlor, das beim Wiederauflösen in der Papierfabrik freigesetzt werden könnte. Der spezifische Frischwasserverbrauch könnte in der Bleichanlage einer TCF-Zellstofffabrik durch verstärkte Schließung der Wasserkreisläufe von ca. 25 - 35 m^3/t Zellstoff auf 10 - 15 m^3/t Zellstoff reduziert werden. Die verstärkte Schließung des Prozesswasserkreislaufes führt zu einer niedrigeren hydraulischen Belastung und in einigen Fällen auch zu einer Reduzierung der organischen Frachten. Der Einsatz der TCF-Bleiche führt zu einem geringeren Gehalt an farbigen Stoffen im Abwasser und zu einer verbesserten Abbaubarkeit der organischen Abwasserinhaltsstoffe in der biologischen Abwasser-behandlungsanlage. Darüber hinaus werden durch die TCF-Bleiche Energieeinsparungen erzielt. Der Dampfverbrauch in der Bleichanlage kann von 0,5 bis 1 auf 0 – 0,2 t Dampf/ t Zellstoff reduziert werden. Der Elektrizitätsverbrauch kann um 20 – 30 % vermindert werden.
Schließlich sind keine Risiken bei der Lagerung von Chlor und der Herstellung von Chlordioxid vorhanden.

Verlagerungseffekte: Die zahlreichen positiven Auswirkungen sind im vorstehenden Abschnitt dargestellt (wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen). Als Nachteile sind folgende Aspekte festzuhalten: Freisetzung von Komplexbildnern wie EDTA (0,2 – 1 kg/t), soweit es in den Bleichstufen eingesetzt wird und die Waschwässer zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitet werden. Allerdings kann durch die Optimierung der Komplexbildnerzugabe die Menge an EDTA reduziert werden. Es bestehen Erfahrungen, nach denen die Absetzbarkeit des Belebtschlammes in den Absetzbecken zu einem gewissen Grad gestört werden können. In anderen Fabriken tritt dieser Effekt nicht auf. Wegen der potenziellen Risiken sollte mit Peroxid sorgfältig umgegangen werden.

Betriebserfahrungen: Heutzutage liegen für alle Qualitäten an TCF-gebleichtem Sulfitzellstoff ausreichende Erfahrungen vor. Es werden keine Betriebsprobleme berichtet.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Sulfitzellstofffabrik mit einer Produktionskapazität von 700 t/d betragen die Investitionskosten für die Umstellung auf die TCF-Bleiche und die Umrüstung der bestehenden Bleichanlage 20 – 50 Mio. EUR. Allerdings hängt diese Angabe zu einem gewissen Grad von den zu erreichenden Zellstoffqualitäten ab. Auf der anderen Seite führt die Umstellung auf die TCF-Bleiche zu Einsparungen bei den Betriebskosten (Chemikalien, Energie). Die Einsparungen hängen vom Preis der Chemikalien und Energie im betreffenden Land ab.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Umweltschutzanforderungen (Reduktion der Einleitungen von chlorierten organischen Stoffen und anderen toxischen Stoffen) und Belange des Arbeitsschutzes. Andere wichtige Gründe für die Einführung dieser Technik liegen in geringeren Betriebskosten für das Bleichen und in Marktanforderungen durch umweltbewusste Kunden.

Referenzanlagen: Die meisten Sulfitzellstofffabriken in Europa.

3.3.4 Teilkreislaufschließung in der Bleichanlage

Es liegen keine weiteren Informationen vor als die bereits in Abschnitt 3.1.4 dargelegten.

3.3.5 Vorbehandlung des Abwassers aus den Sauerstoffstufen in einer Ultrafiltrationsanlage mit anschließender aerober Behandlung des Gesamtabwassers

Beschreibung der Technik: Das Abwasser aus den Sauerstoffstufen kann in einer Ultrafiltrationsanlage behandelt werden. Diese Technik wird nur in einer Sulfitzellstofffabrik in Europa eingesetzt. In diesem Fall wird das Konzentrat im Kesselhaus verbrannt und das Permeat der externen biologischen Abwasserbehandlung zugeführt. Die verfügbaren Informationen zu den Betriebserfahrungen, Auslegungsparameter, Wartung,

Verfügbarkeit und Verwendung des Konzentrates sind nicht ausreichend, um diese Technik als BVT einzustufen.

3.3.6 Anaerobe Kondensatvorbehandlung mit anschließender aerober Behandlung des Gesamtabwassers

Beschreibung der Technik: Die Kondensate aus der Eindampfung der Schwachlauge in Sulfitzellstofffabriken enthalten relativ hohe Konzentrationen an biologisch leicht abbaubaren organischen Stoffen. Sie können in einer separaten anaeroben Stufe wirksam behandelt werden. Die Abwässer aus der Bleichanlage (Filtrate), andere Abwasserströme aus der Fabrik wie Waschverluste, Spülwässer, Überlauf- und Leckagewasser können anschließend zusammen in einem aeroben Belebtschlammsystem entsprechend Abbildung 3.5 behandelt werden.

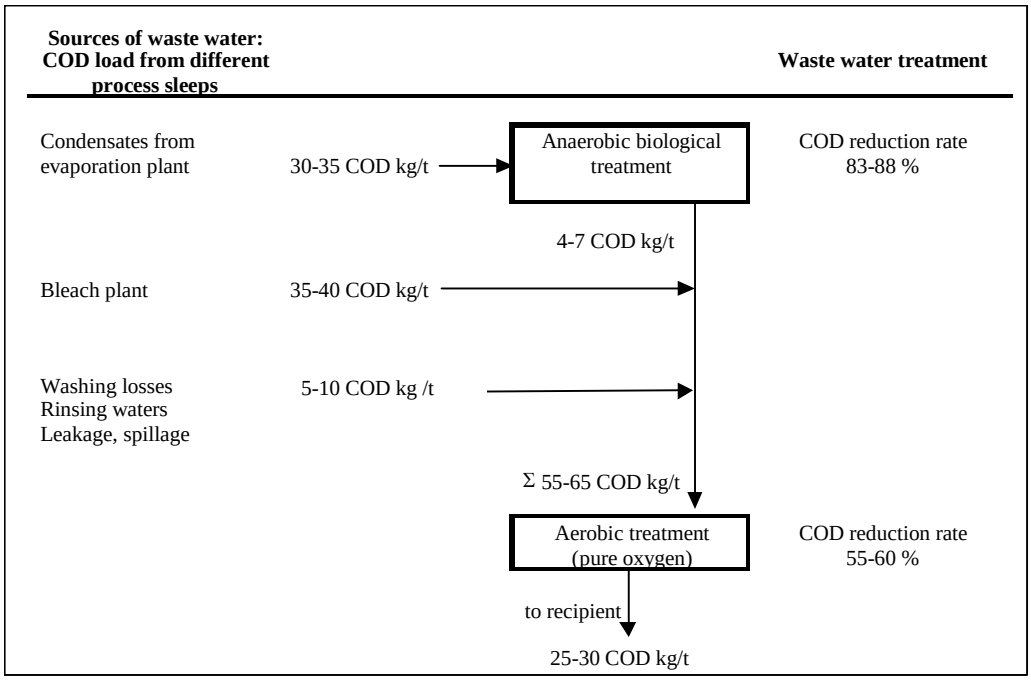


Abbildung 3.5: Abwasserbelastung des sauren Sulfitaufschlusses und Behandlungssysteme mit Angabe der Reinigungsleistung. Beispiel für die organischen Frachten vor und nach der Abwasserbehandlung einer Sulfitzellstofffabrik
Anaerobic biological treatment – anaerobe biologische Behandlung; Aerobic treatment (pure oxygen) = aerobe Behandlung (Reinsauerstoff); Bleach plant = Bleichanlage; COD reduction rate = CSB-Eliminationsrate; COD load from different process steps = CSB-Belastung aus verschiedenen Prozessstufen; Condensates from evaporation plant = Kondensate aus der Eindampfanlage; Leckage = Leckagewasser; Rinsing waters = Spülwässer; Sources of waste water = Abwasseranfallstellen; spillage = Überlaufwasser/überlaufende Lauge; to recipient = zum Gewässer; Washing losses = Waschverluste; Waste water treatment = Abwasserbehandlung

Alle feststoffhaltigen Abwässer werden zur mechanischen Reinigung zuerst einem Vorabsetzbecken und anschließend der Belebtschlammanlage zugeführt. Der Belebtschlammanlage können weiterhin verschiedene Wässer vom Auslaugen (soweit sie anfallen), Oberflächen- und Kühlwasser zugeführt werden. Der faserhaltige Schlamm aus dem Vorabsetzbecken und der biologische Schlamm (Überschussschlamm) aus der Belebtschlammanlage werden in separaten Eindickern eingedickt. Die Entwässerung kann mittels Schraubenpressen mit Vorkonzentrierstufe erfolgen. Der entwässerte Schlamm wird oft mit Rinde vermischt und im Rindenkessel verbrannt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken eingesetzt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Kondensate aus der Eindampfung der Schwachlauge aus Sulfitzellstofffabriken enthalten relativ hohe Konzentrationen an biologisch leicht abbaubaren organischen Stoffen. Diese können in wirksamer Weise in einer separaten anaeroben Stufe behandelt werden. Die CSB-Eliminationsraten liegen bei ca. 85 %. Die CSB-Reinigungsleistung der aeroben Behandlung der restlichen Abwässer aus der Fabrik beträgt 55 % - 60 %. In Abhängigkeit von den der Abwasserbehandlung vorgelagerten prozessintegrierten Maßnahmen und der spezifischen Konzeption der Delignifizierungs- und Bleichstufen können insgesamt emittierte CSB-Frachten von 25 - 30 kg/t erreicht werden.

Verlagerungseffekte: Bei der anaeroben Behandlung von konzentrierten Abwasserströmen fällt energiehaltiges Biogas an, das als Brennstoff eingesetzt werden kann. Die entstehende Überschussschlammmenge ist geringer. Für die aerobe biologische Behandlung als zweite Stufe wird Energie für Pumpen und Belüfter verbraucht. Der Überschussschlamm muss entwässert und weiterbehandelt werden, z.B. in einem geeigneten Rindenkessel oder in einem Wirbelschichtofen.

Betriebserfahrungen: Diese Technik wird einigen Fabriken betrieben. Normalerweise wird eine gute Verfügbarkeit angegeben.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Daten verfügbar.

Referenzanlagen: Mehrere Fabriken in Deutschland und Österreich setzen diese Technik ein.

Literatur: Nicht verfügbar

3.3.7 Biologische Abwasserbehandlung

Beschreibung der Technik: Die biologische Abwasserbehandlung macht sich natürliche biologische Prozesse zunutze, bei denen Mikroorganismen im Wasser gelöste organische Stoffe als Energiequelle nutzen. Bei der biologischen Behandlung werden die im Wasser biologisch abbaubaren, gelösten und kolloidal vorliegenden Stoffe zum Teil in feste Zellsubstanz und zum Teil in Kohlendioxid und Wasser überführt. Vor der Ableitung des Abwassers wird der Belebtschlamm davon getrennt.

Für das gesunde Wachstum benötigen die Mikroorganismen Stickstoff und Phosphor. In Zellstoff- und Papierabwässern ist der Gehalt an Nährstoffen im Vergleich zum Gehalt an organischen Stoffen niedrig. Deshalb ist für das Erreichen einer wirksamen Behandlung oft die Zugabe von Phosphor und Stickstoff zum Abwasser erforderlich. Allerdings ist die Untersuchung empfehlenswert, ob die Nährstoffversorgung im Rohabwasser ausreichend ist. Manchmal enthält das Abwasser aus Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Sulfitzellstoff genügend Phosphor und bei integrierten Zellstoff- und Papierfabriken ist die Zugabe von Stickstoff manchmal sehr gering. Deshalb sollte die Überdosierung von Nährstoffen durch die Bestimmung der Nährstoffkonzentrationen im Ablauf vermieden werden.

Die Abwassertemperatur beeinflusst die Funktion der biologischen Stufe. Die Temperatur darf für aerobe Verfahren 30 – 35 °C nicht übersteigen, weshalb eine Kühlung notwendig werden kann. Die Abwassertemperatur bei Sulfitzellstofffabriken liegt normalerweise zwischen 29 und 35 °C.

Das während des Aufschlusses gelöste Lignin gelangt zu einem gewissen Grad ins Abwasser und kann in der biologischen Behandlungsanlage nur teilweise abgebaut werden. Die verbleibenden Ligninanteile geben dem behandelten Abwasser eine braune Farbe.

Abbildung 3.6 zeigt das vereinfachte Verfahrensschema für eine Belebtschlammanlage.

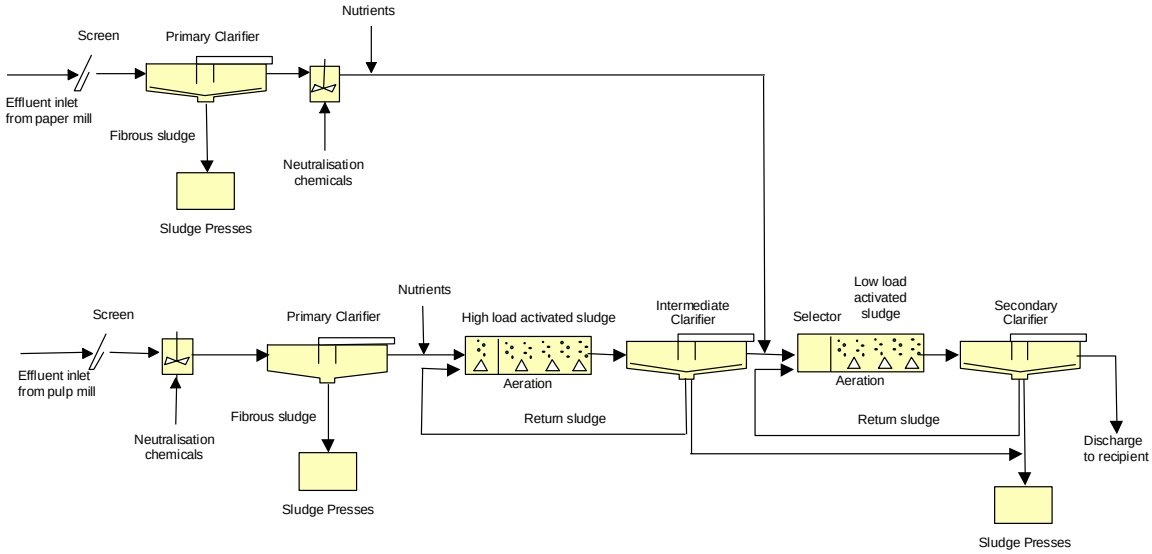


Abbildung 3.6: Verfahrensschema der Abwasserbehandlungsanlage einer Sulfitzellstofffabrik. Beispiel einer österreichischen Fabrik [Neusiedler AG, Österreich]
Aeration = Belüftung; Discharge to recipient = Einleitung ins Gewässer; Effluent inlet from paper/pulp mill = Abwasserzulauf von der Papier-/Zellstofffabrik; Fibrous sludge = faserhaltiger Schlamm; High load activated sludge = hochbelastete Belebtschlammstufe; Intermediate Clarifier = Zwischenklärbecken; Low load activated sludge = niedrig belastete Belebtschlammstufe; Neutralisation chemicals = Chemikalien für die Neutralisation; Nutrients = Nährstoffe; Primary Clarifier = Vorklärbecken; Return sludge = Rücklaufschlamm; Screen = Rechen; Secondary Clarifier = Nachklärbecken; Selector = Selektor; Sludge Presses = Schlammpressen

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine end-of-pipe-Technik. Das Verfahren kann sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken eingesetzt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Reinigungsleistung schwankt in Abhängigkeit von der Art der behandelten Abwässer. In Tabelle 3.13 sind die Ablaufkonzentrationen der in Abbildung 3.6 dargestellten Abwasserbehandlungsanlage zusammengestellt. Die Werte für CSB, BSB_5 und abfiltrierbare Stoffe wurden anhand von Tagesmischproben ermittelt. Die jährliche Produktion der integrierten Fabrik betrug im Jahre 1998 ca. 45000 Tonnen Zellstoff und ca. 80000 Tonnen Feinpapier. Die CSB-Fracht aus der Papierfabrik trägt zu ca. 10 % zur gesamten CSB-Zulauffracht bei.

Tage im August '98	Von der Zellstofffabrik zulaufende CSB-Fracht [kg/d]	Von der Papierfabrik zulaufende CSB-Fracht [kg/d]	Gemessene Konzentrations-Tagesmittelwerte nach biologischer Behandlung		
			CSB [mg/l]	BSB_5 [mg/l]	Abf. St. [mg/l]
1	16922	1601	520	21	32
2	16785	1614	521	19	32
3	15809	1685	524	22	32
4	15984	2149	465	21	26
5	13042	2478	524	25	24
6	13380	1291	507	25	20
7	15978	856	483	19	18
8	13966	449	428	23	20
9	12740	1515	389	17	36
10	13017	1069	410	24	22
11	10888	1769	395	22	18
12	14574	1809	364	19	18
13	13230	2039	412	21	18
14	13754	1485	409	16	24
15	14345	2307	408	25	24
16	14547	2126	466	22	32
17	13862	1505	501	17	44
18	15612	1307	537	17	48
19	11278	2723	499	24	48
20	14695	2079	433	23	52
21	14713	1833	400	19	38
22	13294	2231	411	22	26
23	13525	1549	474	25	30
24	15590	1498	483	23	20
25	13908	881	534	18	24
26	12928	1738	493	17	20
27	13724	1767	424	25	32
28	16763	2034	510	19	20
29	15673	1403	476	19	22
30	16385	923	458	24	24
31	16230	2102	527	16	18
Mittelwert	**14424**	**1671**	**465**	**21**	**28**
Maximum	**16922**	**2723**	**537**	**25**	**52**
Minimum	**10888**	**449**	**364**	**16**	**18**

Erklärungen:
1) Die spezifische Abwassermenge aus der Papierfabrik beträgt ca. 15 m^3/t
2) Die spezifische Abwassermenge aus der Zellstofffabrik beträgt ca. 55 m^3/t
3) Der Gesamt-Phosphorgehalt wird nur einmal wöchentlich bestimmt und liegt normalerweise unter 1 mg/l bei Spitzenwerten von bis zu 2 mg/l
4) Der Gehalt an anorganischen Stickstoffverbindungen liegt normalerweise unter 7 mg/l

Tabelle 3.13: Abwassereinleitung einer integrierten Sulfitzellstofffabrik nach biologischer Behandlung [Die Daten stammen von einem Fabrikbesuch im Jahre 1998]

Verlagerungseffekte: Die aerobe biologische Behandlung benötigt Energie. Der Stromverbrauch für die Belebtschlammstufe liegt im Bereich von 1,2 - 2 kWh/kg abgebautem BSB (Belüftung und Pumpen). Der Schlammanfall bei der Belebtschlammbehandlung liegt im Bereich von 0,4 – 0,7 kg TS/kg abgebautem BSB [Finnish BAT Report, 1997].

Der faserhaltige Schlamm aus dem primären Absetzbecken des vorstehend beschriebenen Beispieles wird als Ersatzrohstoff in der Ziegelindustrie verbrannt. Der überschüssige Belebtschlamm wird entwässert, mit Eindampferkondensat gewaschen, erneut gewaschen und schließlich im Laugen-Rückgewinnungskessel zusammen mit Dicklauge verbrannt. Diese Variante der Belebtschlammbehandlung wurde deshalb gewählt, weil die Fabrik keinen Rindenkessel betreibt. Die Holzhackschnitzel werden von nahe gelegenen Sägewerken geliefert. Andere Sulfitzellstofffabriken verbrennen normalerweise den entwässerten Schlamm im Rindenkessel.

Betriebserfahrungen: Die aerobe biologische Behandlung für Sulfitzellstoffabwässer wie das Belebtschlammverfahren wird seit über 10 Jahren erfolgreich eingesetzt.

Mit dem in Abbildung 3.6 dargestellten Konzept zur Abwasserbehandlung wird versucht, Spitzenzuflüsse vom normalen Zufluss zu trennen, um einen gleichmäßigen Betrieb zu bewerkstelligen. Wenn CSB-Spitzenkonzentrationen oder ungewöhnliche Schwankungen bei der Temperatur und der hydraulischen Belastung im Zulauf festgestellt werden, wird der auftretende Abwasserteilstrom in ein Havariebecken geleitet, wo er zwischengespeichert und schrittweise dem Hauptabwasserstrom zugeführt wird. Dieses Konzept führt zu geringen Schwankungen bei den Abwasseremissionen und einer kontinuierlich hohen Leistungsfähigkeit der Behandlungsanlage.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die gesamten Investitionskosten für das ganze vorstehend beschriebene Abwasserbehandlungssystem einschließlich Schlammentwässerung wird mit ca. 20 Mio. EUR angegeben (bezogen auf eine Jahresproduktion von 45000 Tonnen Zellstoff und von ca. 80000 Tonnen Feinpapier). Diese Kosten gelten für eine Dimensionierung für die maximale Fracht. Dies führt zu höheren Kosten, aber auch zu höherer Betriebssicherheit.

Anlagenbeispiele: Neusiedler AG, Österreich; alle vier Sulfitzellstofffabriken in Deutschland praktizieren die Belebtschlammbehandlung. Allerdings wird das Eindampferkondensat in Anaerobreaktoren vorbehandelt mit anschließender aerober Behandlung, wie sie vorstehend beschrieben ist. Es gibt eine Reihe von anderen Anlagenbeispielen in Europa, die Belebtschlammanlagen betreiben.

Literatur/Quellenangabe
[Persönliche Mitteilungen von Anlagenbetreibern in Deutschland und Österreich]

3.3.8 Einsatz eines Elektrofilters und von mehrstufigen Wäschern beim Laugen-Rückgewinnungskessel – Rückgewinnung von Chemikalien und Verminderung der Abgasemissionen

Beschreibung der Technik: Neben dem Laugen-Rückgewinnungskessel als einer wesentlichen Emissionsquelle für SO_2 und Staub sind der Kocher, aus dem zu bestimmten Zeiten des Prozesses Lauge und Gas abgezogen wird, und der Abblasetank weitere potenzielle Quellen für Emissionen von SO_2 (siehe Abbildung 3.7). Die Gasströme aus letzterem enthalten zwischen 30 und 70 % des dem Kocher zugeführten Schwefeldioxids. Diese werden üblicherweise in Tanks mit unterschiedlichen Druckniveaus sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus Umweltgründen zurückgewonnen. Freisetzungen von SO_2 aus Wasch- und Sortiervorgängen und von Gasen aus dem Eindampfer können durch Erfassung der Gase und ihrer Zuführung als Verbrennungsluft zum Laugen-Rückgewinnungskessel zurückgewonnen werden.

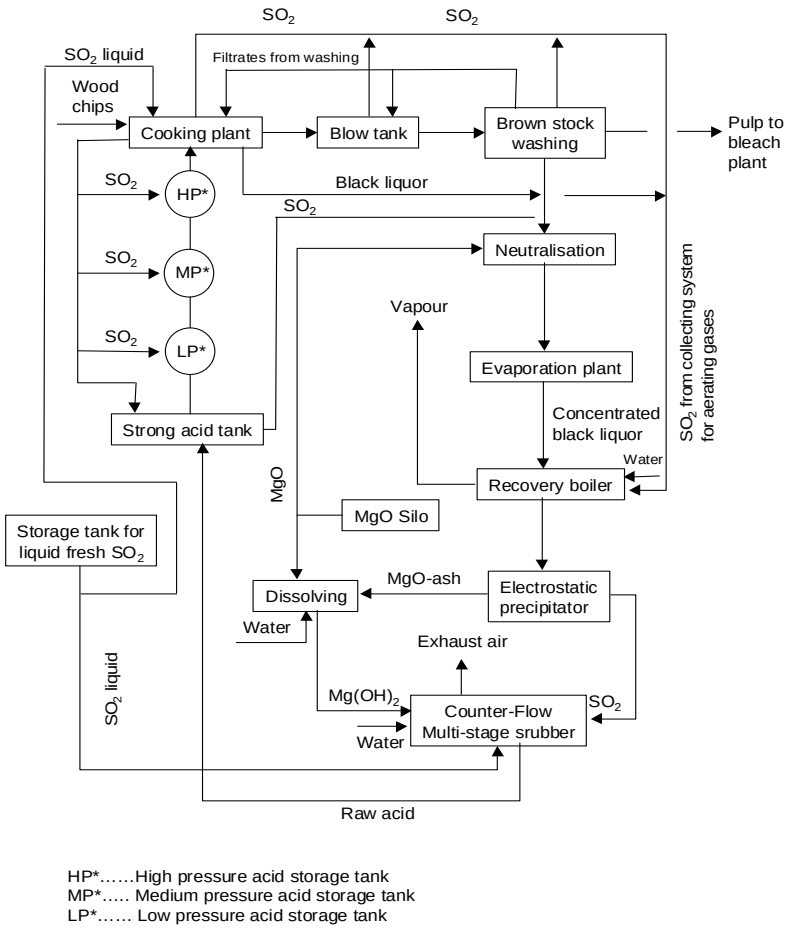


Abbildung 3.7: SO_2 – Kreislauf in einer Sulfitzellstofffabrik
Black liquor = Schwarzlauge; Blow tank = Abblasetank; Brown stock washing = Waschen von ungewaschenem Zellstoff; Concentrated black liquor = konzentrierte Schwarzlauge; Cooking plant = Kochanlage; Counter-Flow Multi-stage scrubber = Gegenstrom-Mehrstufenwäscher; Dissolving = Lösen; Electrostatic precipitator = Elektrofilter; Evaporation plant = Eindampfanlage; Exhaust air = Abluft; Filtrates from washing = Filtrate vom Waschen; MgO-ash = MgO-Asche; MgO Silo = MgO-Silo; Neutralisation = Neutralisation; Pulp to bleach plant = Zellstoff zur Bleichanlage; Raw acid = Rohsäure; Recovery boiler = Laugen-Rückgewinnungskessel; SO_2 from collection system for aerating gases = SO_2 aus dem Erfassungssystem der Entlüftungsgase; SO_2 liquid = flüssiges SO_2; Storage tank for liquid fresh SO_2 = Lagertank für frisches, flüssiges SO_2; Strong acid tank = Tank für Starksäure; Water = Wasser; Wood chips = Holzhackschnitzel
HP*……High pressure acid storage tank = Hochdruck-Säurelagertank
MP*…...Medium pressure acid storage tank = Mitteldruck-Säurelagertank
LP*……Low pressure acid storage tank = Niederdruck-Säurelagertank

Die schlussendlich auftretenden Schwefeldioxidemissionen hängen eng mit dem System zur Rückgewinnung der verbrauchten Kochlauge zusammen. Das Rauchgas aus der Verbrennung der konzentrierten Schwarzlauge beinhaltet eine beträchtliche Menge an gasförmigem SO_2. Sie schwankt etwas entsprechend der Sulfidität der verbrauchten Lauge, die aus dem jeweils angewendeten Sulfitprozess herrührt. Zur Verminderung dieser Emissionen können eine gut gewählte Konzeption und ein sorgfältiger Betrieb des Ofens sowie zusätzliche Abgasbehandlungsanlagen (Mehrstufenwäscher) eingesetzt werden.
Der Magnesiumbisulfit-Rückgewinnungsprozess erfordert zur weitgehenden Minimierung der $MgSO_4$- und SO_3-Bildung kontrollierte Oxidationsbedingungen und Temperaturen zwischen 1250 und 1400 °C zur Erzeugung einer sauberen Asche mit einer maximalen Reaktivität bei Kontakt mit Wasser. Die in der Kochanlage eingesetzten Chemikalien treten im Rauchgas in Form von leichter MgO-Asche und der Schwefel als SO_2 auf. Durch das Zusammenführen dieser beiden Chemikalien in einem Gegenstrom-Mehrstufenwäscher entsteht frische Kochflüssigkeit.
Die Stufen zur Wiederherstellung der Kochflüssigkeit bestehen aus einer Reinigung der MgO-Asche mittels Wäsche und Löschen in Wasser unter von Bildung $Mg(OH)_2$. Das SO_2 wird mit dieser alkalischen Lösung im Gegenstrom ausgewaschen. Die SO_2-angereicherte Lösung wird zur Laugenzubereitung zurückgeführt (siehe Abbildung 3.7).

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Maßnahmen zur Verminderung der SO_2-Emissionen können als prozessintegrierte Technik betrachtet werden, da das im Wäscher eingesetzte Waschwasser und das ausgewaschene SO_2 im Prozess wiederverwendet werden. Diese Technik ist sowohl für bestehende als auch für neue Fabriken einsetzbar. Die die Möglichkeiten zur weiteren Reduzierung der Schwefelemissionen beeinflussenden Faktoren sind die Art des Sulfitprozesses (Art der Kochbase und pH-Wert der Kochlösung) und zu einem gewissen Grad die Größe der Fabrik. Die Beschreibung der mit den BVT generell erreichbaren Emissionsniveaus ist für Sulfitzellstofffabriken wegen der höheren Flexibilität beim Sulfitaufschluss schwieriger als für Sulfatzellstofffabriken. Nachfolgend werden zwei Beispiele für die Wirksamkeit von Systemen zur Reduzierung der SO_2-Emissionen in einer kleineren (35000 t/a) und einer größeren Fabrik (300000 t/a) wiedergegeben.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: In allen Sulfitzellstofffabriken mit Chemikalienrückgewinnung aus der Kochlauge werden verschiedene Arten von Wäschern zur Rückgewinnung von SO_2 eingesetzt.

Eine kleine Fabrik (Neusiedler AG) zur Herstellung von gebleichtem Sulfitzellstoff aus Nadelholz (Weißgrad 87% ISO) betreibt ein Rauchgasreinigungssystem, das aus einem Elektrofilter und einem Gegenstrom-Dreistufenwäscher besteht. Diese Fabrik berichtete folgende im Jahre 1998 gemessenen Werte:

	NO_x [4]	**SO_2**	**CO**	**Staub**	**O_2-Überschuss**	**Schwarzlauge [2]**	**Produktion**	**Gasmenge [3]**	**NO_2 [4]**	**SO_2**	**CO**	**Staub**
Einh.	mg/Nm^3	mg/Nm^3	mg/Nm^3	mg/Nm^3	%	t/d	t/d	Nm^3/t	kg/t	kg/t	g/t	kg/t
Grenzwert [1]	**350**	**300**	**50**	**40**								
Jan	243	53	1	3	5	295,4	137,2	6238	1,52	0,31	6,2	0,019
Feb	251	30	2	3	6	294,6	143,4	5932	1,49	0,16	11,8	0,018
März	237	70	1	3	7	288,4	136,2	6152	1,46	0,40	6,1	0,018
April	223	49	1	3	8	254,5	116,3	6543	1,46	0,29	6,5	0,020
Mai	252	21	5	3	9	296,8	136,5	6263	1,58	0,13	31,3	0,020
Juni	250	35	3	3	10	301,3	141,5	6140	1,54	0,20	18,4	0,018
Juli	243	37	2	3	5	300,9	137,9	6280	1,53	0,22	12,5	0,019
Aug	244	49	3	3	6	300,9	130,9	6684	1,63	0,31	20	0,020
Mittelwert	**243**	**43**	**2**	**3**	**5**	**291,6**	**135**	**6279**	**1,53**	**0,25**	**14,1**	**0,019**

Anmerkungen:
1 Die Emissionsgrenzwerte und die gemessenen Werte beziehen sich als Tagesmittelwerte auf Normbedingungen (0°C, 1013 mbar) und auf einen Sauerstoffgehalt von 5 % nach Abzug des Wasserdampfgehaltes (trockenes Gas). Entsprechend des Österreichischen Luftreinhaltegesetzes dürfen 95 % aller Tagesmittelwerte die gültige Massenkonzentration nicht überschreiten.
2 Der Trockensubstanzgehalt der konzentrierten Schwarzlauge beträgt nach der Eindampfung 56 – 58 % TS. Der Energiegehalt der Schwarzlauge liegt bei 7,8 GJ/t. Im Mittel werden je Tonne produzierten Zellstoffs 2,16 t Schwarzlauge verbrannt.
3 Ein kleinerer Teil des Rohgases (36,2 MJ/Nm^3) wird der Flamme zur Unterstützung der Verbrennung und aus Sicherheitsgründen zugegeben. Die Rohgasmenge schwankt zwischen 4758 Nm^3/d und 6742 Nm^3/d, was 39 Nm^3/t oder 1,4 GJ/t Zellstoff entspricht. Der Beitrag der Rohgasverbrennung zu den Gesamtemissionen ist vernachlässigbar.
4 Üblicherweise liegen die NO_x-Konzentrationen im Bereich von 350 mg/Nm^3. Durch die Eindüsung von Ammoniak wird die durchschnittliche Konzentration auf ca. 250 mg/Nm^3 erniedrigt.

Tabelle 3.14: Abgasemissionen in die Atmosphäre vom Laugen-Rückgewinnungskessel einer kleinen österreichischen Fabrik zur Herstellung von 35000 t/a Sulfitzellstoff
[Alle Angaben stammen von einem Betriebsbesuch im Oktober 1998]

Die Schwankungen der NO_x-Konzentrationen sind sehr klein; sie bewegen sich um den Wert 250 mg/Nm^3. Die Staubemissionen werden nicht kontinuierlich überwacht, da der Staub mittels Elektrofilter und dreistufigen Wäschern nahezu vollständig abgeschieden wird. Die SO_2-Emissionen liegen normalerweise deutlich unter 100 mg/Nm^3, aber es können einige Spitzen bis zu 450 - 600 mg/Nm^3 auftreten. Diese Spitzen werden hauptsächlich durch Reinigungsvorgänge unter Verwendung von Säure verursacht (zwei bis dreimal monatlich). In diesem Fall sind nur zwei Wäscher in Betrieb.

Eine große schwedische Fabrik (Nymölla), die Sulfitzellstoff auf Basis von Magnesiumsulfiten mit einer jährlichen Produktionskapazität von 300000 t/a Zellstoff herstellt, berichtete SO_2-Emissionen aus dem Prozess im Bereich von 1,0 – 1,5 kg S/t Zellstoff. Im Rückgewinnungssystem findet die SO_2-Absorption aus dem Rauchgas des Laugen-Rückgewinnungskessels in fünf Venturi-Wäschern statt. Ein System zur Erfassung der verschiedenen Entlüftungsgase ist vorhanden. Die Entlüftungsgase aus der Kocherei, Wäscherei und Eindampferei werden gesammelt und dem Laugen-Rückgewinnungskessel als Verbrennungsluft zugeführt.

Emissionsmessungen: Automatische Geräte zur Bestimmung von SO_2 und NO_x.

Verlagerungseffekte: Negative Verlagerungseffekte sind nicht zu erwarten.

Betriebserfahrungen: In allen Sulfitzellstofffabriken auf Basis von Magnesiumsulfiten werden verschiedene Varianten des beschriebenen Systems zur Verminderung der SO_2-Emissionen eingesetzt. Allerdings werden von den europäischen Fabriken unterschiedliche SO_2-Eliminationsleistungen berichtet.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Daten verfügbar.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Rückgewinnung von SO_2 aus der Verbrennung von Abfalllauge ist Bestandteil der Zubereitung von Kochlauge und wird sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus Umweltgründen praktiziert. Allerdings werden normalerweise zur weiteren SO_2-Reduktion leistungsfähigere Systeme eingesetzt. Leistungsfähigere Systeme zeichnen sich durch eine zusätzliche Wäscherstufe zur SO_2-Absorption und durch ein Erfassungssystem für die Entlüftungsgase aus der Kocherei, Wäscherei und Eindampferei aus.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa setzen ähnliche Systeme ein.

Literatur:
[SEPA-Report 4008, 1992], [Angaben von einem Betriebsbesuch, 1998]

3.3.9 Verminderung von geruchsbelasteten Gasen

Es liegen keine weiteren Informationen vor als die bereits in Abschnitt 3.2.2.4 dargelegten.

3.3.10 Emissionsoptimierter Laugen-Rückgewinnungskessel durch Regelung der Feuerungsbedingungen

Es sind keine ausreichenden Informationen eingegangen.

3.3.11 Maßnahmen zur Vermeidung von unkontrollierten Abweichungen vom Normalbetrieb und zur Verminderung der Folgen von Betriebsstörungen

Als ein Beispiel für die Vermeidung von unkontrollierten Abweichungen vom Normalbetrieb in Sulfitzellstofffabriken werden die Sicherheitsmaßnahmen für die SO_2-Versorgung und SO_2-Lagerung beschrieben.

Beschreibung der Technik: Für den Ausgleich der Verluste im Chemikalienkreislauf einer Sulfitzellstoffanlage ist frisches Schwefeldioxid erforderlich. Dieser Bedarf wird im Allgemeinen mit geliefertem flüssigem SO_2 gedeckt. Dieses wird im Allgemeinen in geeigneten Lagertanks gespeichert. Die gesamte Anlage zum Befüllen, Lagern und ggfs. Verflüssigen von Schwefeldioxid einschließlich der Verrohrung bedarf einer Sicherheitsanalyse, die regelmäßig und bei durchgeführten Änderungen der Anlage auf den neuesten Stand gebracht wird. Für weitere Bereiche, in denen SO_2 eingesetzt wird (z.B. Einrichtungen zur Behandlung von geruchsbelasteten Gasen, Kocherei, Containerplatz und Abluftentschwefelungsanlage), gibt es Untersuchungen zur Sicherheit. Mögliche Risiken beim Eisenbahntransport von flüssigem SO_2 werden auch im

Rahmen einer Sicherheitsüberprüfung evaluiert. Die Öffentlichkeit wird mittels Informationsschrift über die Gefahren von Schwefeldioxid und über das richtige Verhalten im Laufe von unkontrollierten Abweichungen vom Normalbetrieb informiert.

Die folgenden technischen Einrichtungen sind Bestandteil der Anlagen für die SO_2-Versorgung und SO_2-Lagerung:

- Doppelwandige Rohrleitungen
- Sichere Stromversorgung
- Umweltschonende Behandlung von SO_2 im Falle einer fehlerhaften Abweichung vom Normalbetrieb (Absaugung und Behandlung oder Speicherung in Reservebehältern)

Neben den technischen Einrichtungen bestehen folgende organisatorischen Maßnahmen:

- Regelmäßige Kontrolle und Wartung
- Alarmplan einschließlich geeigneter Maßnahmen, die im Falle einer unkontrollierten Abweichung vom Normalbetrieb zu ergreifen sind
- Qualifiziertes Personal, das im Falle von bedeutenden Unfällen/Betriebsstörungen zuständig ist
- Ausbildung der Mitarbeiter
- Information der Öffentlichkeit

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik ist sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Fabriken einsetzbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Mit dieser Maßnahme kann keine unmittelbare Begrenzung der Emissionen erreicht werden. Allerdings kann die Wahrscheinlichkeit für große Unfälle sowie Abweichungen vom vorgeschriebenen Anlagenbetrieb erheblich vermindert werden.

Emissionsmessungen: Automatische SO_2-Messgeräte

Verlagerungseffekte: Es sind keine Verlagerungseffekte zu erwarten.

Betriebserfahrungen: Das beschriebene Sicherheitssystem für die SO_2-Versorgung und -Lagerung ist beispielsweise bei Sappi, Feinpapier Europa, Werk Ahlfeld (Deutschland) mit Erfolg im Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Daten verfügbar.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die nachdrückliche Absicht, die Zellstofffabrik mit geringerem Risiko für die Umwelt und die angrenzende Nachbarschaft zu betreiben.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa setzen ähnliche Sicherheitssysteme ein.

Literatur: nicht verfügbar

3.4 Beste Verfügbare Techniken

3.4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seiner Inhalte wird der Leser auf das Vorwort verwiesen, das für alle BREFs einheitlich ist, insbesondere auf den fünften Abschnitt dieses Vorworts "Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken mit den damit unmittelbar verbundenen Emissions- und Verbrauchswerten (oder -bereichen) sind das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, das folgende Stufen beinhaltet:

- Identifizierung der wesentlichen Umweltaspekte/-probleme; für integrierte Sulfitzellstoff- und Papierfabriken haben die größte Bedeutung der Wassereinsatz, die Abwassereinleitung (CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, N, P), der Energieverbrauch (Dampf und Strom), feste Abfälle wie Rejekte, Schlamm und Asche, Abgasemissionen aus der Energieerzeugung (SO_2, NO_x, CO_2, Staub), Lärm, Abwärme im Abwasser und manchmal Gerüche; die drei zuletzt genannten Punkte stehen für lokale Auswirkungen;
- Bewertung der Techniken, die zur Lösung dieser Probleme am geeignetsten sind;
- Identifizierung der besten Umweltleistungen auf Basis der in Europa und weltweit verfügbaren Daten;
- Ermittlung der Bedingungen, unter denen diese Umweltleistungen erreicht werden können. Diese beinhalten u.a. Kostenaspekte, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien und die wichtigsten Gründe für die Einführung dieser Techniken;
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) mit den damit verbundenen erreichbaren Emissions- und/oder Verbrauchswerten, die für diesen Sektor grundsätzlich gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der IVU-Richtlinie gelten.

Bei jedem dieser Schritte sowie bei der Darstellung der Informationen hat die Beurteilung durch Experten die entscheidende Rolle gespielt.

Vor diesem Hintergrund werden die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken und so weit als möglich die damit erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte als für die gesamte Branche geeignet angesehen. In vielen Fällen geben sie die derzeitige Leistungsfähigkeit und Betriebsweise von Anlagen dieser Branche wieder. Die angegebenen Emissions- und Verbrauchswerte „in Verbindung mit den besten verfügbaren Techniken“ sind so zu verstehen, dass sie für die Branche als solche geeignet sind und Umweltleistungen widerspiegeln, die das Ergebnis der Anwendung der Techniken in diesem Sektor sind. Dabei sind die Kostenaspekte und Umweltvorteile entsprechend der "BVT"-Definition abzuwägen. Die erreichbaren Werte sind jedoch keine Grenzwerte, weder für Emissionen noch für den Verbrauch, und sollten nicht als solche verstanden werden. Es mag Fälle geben, in denen technisch bessere Emissions- und Verbrauchswerte erreicht werden können, die aber wegen der damit verbundenen Kosten oder durch Betrachtung von Verlagerungseffekten in andere Umweltmedien nicht als allgemein gültig für den Sektor angesehen werden. Solche Werte können jedoch in Fällen, bei denen besondere Gründe vorliegen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die Emissions- und Verbrauchswerte müssen im Zusammenhang mit den BVT in Beziehung mit bestimmten Bezugsbedingungen (z.B. Mittelungszeiträume) gesetzt werden.

Das vorstehend beschriebene Konzept “Niveaus im Zusammenhang mit BVT” ist von dem sonst in diesem Dokument verwendeten Begriff “erreichbares Niveau” zu unterscheiden. In Fällen, in denen Werte in Verbindung mit einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken als "erreichbar" bezeichnet werden, sind sie als Werte zu verstehen, deren Erreichen über längere Zeit in einer sorgfältig ausgelegten und gewarteten sowie in einer gut betriebenen Anlage oder einem gut geführten Prozess erwartet werden kann.
Soweit verfügbar sind die Angaben zu den Kosten zusammen mit den in Kapitel 4 beschriebenen Techniken angegeben. Sie geben eine ungefähre Vorstellung zur Größenordnung der betreffenden Kosten. Allerdings hängen die tatsächlichen Kosten einer Technik stark von den speziellen Verhältnissen eines Falles ab, z.B. von Gebühren, Steuern und den technischen Gegebenheiten einer Anlage. Es ist im Rahmen dieses Dokuments nicht möglich, alle diese standortspezifischen Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Sofern Angaben zu den Kosten nicht verfügbar sind, werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit von Techniken auf der Grundlage von Erfahrungen aus bestehenden Anlagen gezogen.

Die in diesem Kapitel grundsätzlich als "BVT" angesehenen Techniken sind der Maßstab, mit dem die Umweltleistung einer laufenden bestehenden Anlage bzw. ein Antrag für eine neue Anlage beurteilt werden soll. Auf diese Weise dienen sie der Festlegung von geeigneten Bedingungen auf der Grundlage der BVT und der Einführung allgemein bindender Vorschriften nach Artikel 9 Absatz 8. Es wird angestrebt, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie die hier dargelegten generellen BVT erreichen oder sogar bessere Umweltleistungen aufweisen. Es wird auch angestrebt, dass bestehende Anlagen sich entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken im jeweiligen Fall mit der Zeit an die generellen BVT annähern können oder über diese hinausgehen.

Gleichwohl die BREFs selbst keine rechtlich verbindlichen Standards festlegen, bieten sie Informationen als Wegweisung für Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit hinsichtlich erreichbarer Emissions- und Verbrauchswerte für bestimmte Techniken. Bei der Festlegung von geeigneten Emissionsgrenzwerten im Einzelfall wird es notwendig sein, die Zielsetzungen der IVU-Richtlinie sowie die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die Herstellung von Sulfatzellstoff erfolgt nicht in einem einzelnen Prozess, sondern in einer Abfolge von Grundoperationen, die oft miteinander verbunden sind und voneinander abhängen. Deshalb handelt es sich bei den BVT für Sulfatzellstoff- und Papierfabriken immer um eine geeignete Kombination von Techniken. Die Prioritätensetzung und die Auswahl von Techniken oder einer Kombination von Techniken hängen von örtlichen Gegebenheiten ab.

Die nachfolgend aufgeführten Techniken sind, soweit nichts anderes vermerkt ist, bei neuen und bestehenden Anlagen anwendbar. Bei Sulfatzellstoff- und Papierfabriken spielt der Umstand weniger eine Rolle, ob es sich um eine neue oder bestehende Fabrik handelt. Zellstoff- und Papierfabriken sind mehr durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Maschinentechnik umgebaut und weniger als Ganzes ersetzt wird. Die modulare Umrüstung und Entwicklung der Anlagen bedeutet, dass jeder Standort ein einzigartiges Ergebnis der örtlichen Verhältnisse und der Geschichte darstellt. Auf der anderen Seite liegt eine Verknüpfung von Grundoperationen vor, die allen Ländern gemein ist.

3.4.2 BVT für Sulfitzellstoff- und Papierfabriken

Nachstehend werden für integrierte und nichtintegrierte Sulfitzellstofffabriken die als BVT angesehenen Techniken und Technikkombinationen dargestellt. Die folgende Liste an BVT ist nicht als erschöpfend zu verstehen und jede andere Technik oder Technikkombination, mit der die gleiche (oder bessere) Umweltleistung erreichbar ist, kann ebenso in Betracht gezogen werden; solche Techniken können sich in der Entwicklung befinden oder an der Schwelle der Praxisreife stehen oder bereits verfügbar sein, ohne in diesem Dokument beschrieben zu sein. Für integrierte Sulfitzellstoff- und Papierfabriken wird auf Abschnitt 6.4 verwiesen, wo zu BVT für die Papierherstellung weitere Details zu finden sind. Soweit nichts anderes genannt ist, handelt es es sich bei den angegebenen Werten um Jahresmittelwerte.

Allgemeine Maßnahmen

1. Training, Ausbildung und Motivation der Belegschaft und der Maschinenführer. Zellstoff- und Papierfabriken werden von Menschen betrieben. Deshalb kann das Training der Belegschaft ein sehr kostengünstiger Weg zur Reduzierung der Ableitung von gefährlichen Stoffen sein.
2. Optimierung der Prozesskontrolle. Zur gleichzeitigen Reduzierung verschiedener Schadstoffe und zur Gewährleistung niedriger Emissionen, ist eine verbesserte Prozesskontrolle erforderlich.
3. Zur Aufrechterhaltung der Effizienz der technischen Anlagen in Zellstofffabriken und den damit verbundenen Anlagen zur Emissionsminderung auf hohem Niveau muss ihre ausreichende Wartung gewährleistet sein.
4. Ein Umweltmanagementsystem, dass klar die Verantwortlichkeiten für die umweltrelevanten Aspekte einer Fabrik definiert. Es erhöht das Bewusstsein und beinhaltet Ziele und Maßnahmen, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Checklisten und andere relevante Dokumentationen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasseremissionen

1. Trockenentrindung
2. Verlängerte Delignifizierung im geschlossenen Teil des Prozesses. Dies wird durch eine Kombination aus verlängertem Kochen und Delignifizierung mit Sauerstoff erreicht. Man muss sich bewusst bleiben, dass hinsichtlich der nach dem verlängerten Kochen erreichbaren Kappa-Zahl zwischen dem Magnesiumbisulfit- und dem Magnefitaufschluss ein Unterschied besteht.
3. Hocheffizientes Waschen des ungewaschenen Zellstoffs und Sortieren des ungewaschenen Zellstoffs im geschlossenen System. Verschleppungsverluste vom gewaschenen Zellstoff zur Bleichanlage von weniger als 5 kg CSB/t sind erreichbar.
4. Wirksame Überwachung von Leckagen, Behältnissen und der Prozesswasserrückführung.
5. Beim Kochprozess auf Magnesiumbasis kommt die Teilkreislaufschließung der Bleichanlage zum Einsatz. Bisher führt diese Technik zu einer geringen Einbuße an Weißgrad und wird deshalb nicht allgemein als BVT betrachtet. Für Produkte, für die der Weißgrad ein entscheidender Faktor darstellt, wie für Feinpapier, wird diese Technik nicht als BVT angesehen.
6. Kreislaufschließung der Bleichanlage, wenn der Kochprozess auf Natriumbasis durchgeführt wird.
7. Total chlorfreies Bleichen (TCF-Bleiche).
   Für das Bleichen von Sulfitzellstoff kann auf den Einsatz von chlorhaltigen Bleichmitteln verzichtet werden. Der Einsatz der Dickstoffbleiche mit Peroxid führt zu kurzen und wirksamen Bleichabfolgen.
8. Neutralisation der Schwachlauge vor der Eindampfung.
9. Wiederverwendung der meisten Kondensate im Prozess oder separate biologische Behandlung.
10. Einsatz von ausreichend großen Pufferbehältern für die Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen.
11. Primäre Abwasserbehandlung.
12. Biologische Abwasserbehandlung in einem Belebtschlammsystem oder mit anderen Techniken, die die gleiche oder bessere Reinigungsleistung oder Wirksamkeit aufweisen.
    Zusätzlich zu den prozessintegrierten Maßnahmen (Punkte 1 bis 10) und zur primären Abwasserbehandlung (Punkt 11) wird die biologische Abwasserbehandlung für Sulfitzellstofffabriken (Punkt 12) als BVT angesehen. Belebtschlammanlagen, die aus Ausgleichsbecken, Belebungsbecken, sekundärem Absetzbecken und Schlammbehandlung bestehen, weisen hervorragende Reinigungsleistungen bei der Behandlung der Abwässer aus Zellstofffabriken auf. Niedrig belastete Belebtschlammanlagen mit einer Schlammbelastung von unter 0,15 kg BSB_5/(kg TS*d) und üblichen Aufenthaltszeiten im Belebungsbecken von etwa einem Tag werden als BVT angesehen. Sie können hohe Reinigungsleistungen und stabile Betriebsbedingungen erreichen.
    Es ist anzumerken, dass jedwede andere Abwasserbehandlung mit vergleichbaren Emissionsniveaus und Kosten auch als BVT angesehen werden kann.

Soweit es den Aufschlussbereich anbelangt, wird davon ausgegangen, dass die mit der praktischen Umsetzung der BVT erreichbaren Emissionsniveaus für nichtintegrierte Sulfitzellstofffabriken im gleichen Bereich wie für integrierte Fabriken liegen. Für integrierte Fabriken sind neben den die Zellstoffherstellung betreffenden Maßnahmen (Kapitel 2) zusätzlich die im entsprechenden Kapitel zur Papierherstellung (Kapitel 6) beschriebenen Maßnahmen in Betracht zu ziehen.
Allerdings gibt es einige in Betracht zu ziehende Techniken, die ausschließlich integrierte Zellstofffabriken betreffen, wie zum Beispiel

- Wirksame Trennung der Wassersysteme der Zellstofffabrik von denen der Papierfabrik
- Rückführung des Verdünnungswassers für den Aufschluss von der Zellstoff- zur Papierfabrik

Tabelle 3.15 gibt erreichte Emissionsniveaus einiger Zellstofffabriken wieder, die ein Bündel von prozessintegrierten BVT umgesetzt haben, jedoch nicht notwendigerweise alle und nicht notwendigerweise in vollem Umfang, und die auch die biologische Abwasserbehandlung haben.

Beispiele für Zellstoff-fabriken	Berichtete erreichte Emissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Jahresmittelwerte)							Art der Abwasserbehandlung
	CSB [kg/t]	BSB_5 [kg/t]	AOX [kg/t]	Abf. St. [kg/t]	Ges-P [kg/t]	Ges-N [1] [kg/t]	Menge [2] [m^3/t]	
Gratkorn, A Magnefit	39	2,6	-,- (TCF)	2,8	0,028	0,018	50	Anaerob- und Belebt-schlammstufe mit Rein-O_2
Fabrik 1, D	22	0,9	-,- (TCF)	1,8	0,04	0,28	61	Anaerob- und Belebt-schlammstufe mit Rein-O_2
Fabrik 2, D	23	0,5	-,- (TCF)	n/v	0,04	0,3	80	Anaerob- und Belebt-schlammstufe
Fabrik 3, D	36	1,55	-,- (TCF)	n/v	0,015	0,085	55	Anaerob- und Belebtschl.-stufe (Angaben für 1998)
Fabrik 4, D	11 [3]	n/v	-,- (TCF)	n/v	n/v	n/v	n/v	Fällung/Flockung der Bleichereiabwässer + Tropfkörper + Belebtschlammstufe
Neusiedler, Kematen, A	30	1,7	-,- TCF)	1,7	0,047	0,053	48	Belebtschlammanlage

n/v = Daten nicht verfügbar; A = Österreich; D = Deutschland
der Parameter „abf. St." ist in Deutschland für Zellstofffabriken kein Überwachungsparameter, da die abfiltrierbaren Stoffe bereits mit dem CSB (unfiltrierte Probe) erfasst werden
Anmerkungen:
1) Der Ges-N für deutsche Zellstoff- und Papierfabriken beinhaltet nur die anorganischen Stickstoffverbindungen
2) Kühlwasser und andere saubere Wasser werden getrennt abgeleitet und sind nicht enthalten
3) Berechneter Wert. Die Fabrik hat eine Gesamtjahresproduktion von 26000 t gebleichtem Sulfitzellstoff und von 171170 t Faltschachtelkarton. Die Fabrik stellt vor Ort sauerstoffgebleichten Holzschliff her. Entsprechend den Erfahrungen des Betreibers wird angenommen, dass die Abwasserbehandlungsanlage für die Abwässer aus der Zellstofffabrik einen CSB-Eliminationsgrad von 70% erreicht.

Tabelle 3.15: Beispiele von bestehenden, leistungsfähigen europäischen Zellstofffabriken für erreichte Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: 1997)
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig verstanden werden. Die Daten wurden von TWG-Mitgliedern zur Verfügung gestellt oder im Rahmen von persönlichen Mitteilungen erhalten. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes.

Unter der Annahme einer geeigneten Konzeption und Kapazität der Abwasserbehandlungs-anlage sowie geeignetem Betrieb und Steuerung durch ausgebildetes Personal sind im Allgemeinen die nachfolgenden Werte nach biologischer Behandlung erreichbar:

Parameter	Einheiten	Gebleichter Sulfitzellstoff[1]
CSB	kg/t	20 - 30 [2]
BSB	kg/t	1 - 2
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	1,5 - 2,0
AOX	kg/t	(-)
Ges-P	kg/t	0,02 - 0,05
Ges-N	kg/t	0,15 - 0,5
Prozessabwassermenge [3]	m^3/t	40 - 55 [4]

Anmerkungen
1) Emissionsniveaus für nicht-integrierte und integrierte Sulfitzellstofffabriken
2) Wegen der höheren Kappa-Zahl nach dem Kochen beim Magnefit-Verfahren liegt das mit den BVT erreichte Emissionsniveau bei 35 kg CSB/t Zellstoff
3) Kühlwasser und andere saubere Wasser werden getrennt abgeleitet und sind nicht enthalten
4) Bei integrierten Sulfitzellstofffabriken ist das Prozesswasser aus der Papierfabrik nicht enthalten

Tabelle 3.16: Erreichte Emissionsniveaus im Abwasser nach biologischer Behandlung bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken
Für integrierte Sulfitzellstofffabriken beziehen sich diese Angaben nur auf den hergestellten Zellstoff. Die Emissionen aus der Papierherstellung sind getrennt zu betrachten (siehe Kapitel 6 Papierherstellung). Die Wasserkreisläufe zwischen beiden sind jedoch verbunden und die Wassermengen können deshalb nicht einfach addiert werden.

Tabelle 3.16 sollte im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen verstanden werden:

- **Chemischer Sauerstoffbedarf** (CSB): Die CSB-Eliminationsraten hängen von Art und Menge der behandelten Abwässer (z.B. sind die Kondensate besser abbaubar als Leckagewässer), von der Ausführung und den hydraulischen Verhältnissen der Behandlungsanlage und von der richtigen Einstellung der Betriebsparameter ab. Um als leistungsfähig beurteilt zu werden, sollten die CSB-Eliminationsraten einer Anlage 55 % übersteigen.
  Folglich können Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff im Allgemeinen CSB-Emissionsfaktoren im Bereich von 20 - 30 kg CSB/t Zellstoff erreichen. Die gemessenen CSB-Ablaufkonzentrationen liegen in diesen Fällen im Bereich 400 - 600 mg CSB/l.
  Die Gründe für weniger leistungsfähige Anlagen liegen meist in der gewählten Konzeption und in zu hoher Belastung.

- **Biologischer Sauerstoffbedarf** ($BSB_{5 \text{ oder } 7}$): Sofern die Einhaltung des geeigneten C:P:N-Verhältnisses und die ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet ist, wird der BSB von Zellstoffabwässern in sorgfältig ausgelegten Behandlungsanlagen fast vollständig (> 95 %) entfernt. Bei Betriebsstörungen oder in Fällen, bei denen die Betriebsparameter aus dem Ruder laufen, beginnt die BSB-Ablaufkonzentration zu steigen. Dies erfordert die Einstellung der Betriebsparameter und/oder die Untersuchung der Biomasse. Die BSB-Ablaufkonzentration ist Bestandteil der Prozesssteuerung und kann als Indikator für die Leistungsfähigkeit der aktiven Biomasse genutzt werden.
  Mit den BVT erreichte BSB-Ablaufkonzentrationen liegen zwischen 20 und 30 mg/l. In Abhängigkeit vom Abwasseranfall korrespondiert diese Konzentration mit BSB-Emissionsfaktoren von 1,0 kg BSB_5/t Zellstoff (bei 20 mg/l und 55 m^3 Abwasser/t Zellstoff) bis 1,7 kg BSB_5/t Zellstoff (bei 30 mg/l).

- **Abfiltrierbare Stoffe** (Abf. St.): Bei normalen Betriebsverhältnissen ist das Abwasser nach der zweiten Sedimentationsstufe völlig klar. Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen liegt im Bereich von 20 bis 30 mg/l. Dies entspricht Emissionsfaktoren von 0,8 – 2,0 kg abf. St./t Zellstoff (bei einem Abwasseranfall von 55 m^3/t Zellstoff). Die Werte hängen von der Oberflächenbeschickung der zweiten Sedimentationsstufe und den Eigenschaften des Belebtschlammes ab.

- **Adsorbierbare organisch gebundene Halogene** (AOX): TCF-Zellstofffabriken leiten praktisch keine chlorierten Organika ab (keine Entstehung während des Bleichens).

- **Phosphor und Stickstoff** (ges-P und ges-N): Zur Einhaltung des C:P:N-Verhältnisses, das für das Wachstum des Belebtschlammes von entscheidender Bedeutung ist, müssen für die biologische Behandlung gewöhnlich mineralische Nährstoffe zudosiert werden. Es ist vielmehr notwendig, zwischen den zulaufenden und für den Belebtschlamm verfügbaren N- und P-Verbindungen und den zuzugebenden Nährstoffen den richtigen Ausgleich zu finden und diesen aufrecht zu erhalten, was eine bestimmte feine Abstimmung der Nährstoffzugabe erfordert. Bei Zellstofffabriken wird dem Abwasser meist kein Phosphor zugegeben, während eine Stickstoffdosierung (meist in Form von Harnstoff) essenziell ist. Soweit es sich um ein sorgfältig optimiertes System handelt, werden im Ablauf Phosphorwerte von unter 0,5 mg ges-P/l und Stickstoffwerte von unter 5 mg ges-N/l erreicht. Die entsprechenden Emissionsfaktoren liegen bei 0,02 – 0,05 kg P/t Zellstoff bzw. bei 0,15 – 0,5 kg N/t Zellstoff (bei einem Abwasseranfall von 50 m^3/t Zellstoff).

Um einen beständig stabilen Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage sicherzustellen, kann ein Havariebecken zum Schutz der Biomasse vor toxischen oder heißen konzentrierten Prozessteilströmen sowie ein Pufferbecken zum Fracht- und Mengenausgleich von Vorteil sein.

Maßnahmen für die Reduktion der Abgasemissionen

1. Erfassung der konzentrierten SO_2-Emissionen und Rückgewinnung in Tanks mit unterschiedlichen Druckniveaus.
2. Die SO_2-Emissionen aus Wasch- und Sortiervorgängen und von Entlüftungen der Eindampfer können durch Erfassung und Zuführung der Gase zum Laugen-Rückgewinnungskessel als Verbrennungsluft zurückgewonnen werden.
3. Die SO_2-Emissionen im Rauchgas des Laugen-Rückgewinnungskessels können durch Einsatz von Elektrofiltern und Mehrstufenwäschern sowie durch Erfassung und Wäsche der verschiedenen Entlüftungsgase vermindert werden.

4. Reduzierung der Emission von geruchsbelasteten Gasen durch ein wirksames Erfassungssystem. Diese Gase können entweder im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt oder in einem separaten Wäscher (Ersatzsystem) ausgewaschen werden.
5. Emissionsoptimierter Laugen-Rückgewinnungskessel durch Überwachung der Feuerungsbedingungen
6. Verminderung der SO_2-Emissions aus Hilfskesseln durch den Einsatz von Rinde, Gas, schwefelarmem Heizöl und schwefelarmer Kohle bzw. durch die Reinigung des Abgases von Schwefelverbindungen
7. Einsatz von Hilfskesseln mit niedrigen NO_x-Emissionen (Rinde, Öl, Kohle) und Überwachung der Verbrennungsbedingungen
8. Reinigung der Rauchgase aus Rückgewinnungskesseln (in denen andere Biomassebrennstoffe bzw. fossile Brennstoffe zum Einsatz kommen) mit wirksamen elektrostatischen Abscheidern (Elektrofiltern), um die Staubemission zu reduzieren
9. Emissionsoptimierte Verbrennung von Rückständen (Schlamm aus der Abwasserbehandlung, Rinde) mit Energierückgewinnung.

Eine Kombination dieser Techniken führt für die wichtigste Abgasquelle, dem Laugen-Rückgewinnungskessel, zu Emissionsbereichen, wie sie in Tabelle 2.42 dargestellt sind. Nicht alle Fabrikbeispiele repräsentieren europäische Sulfitzellstofffabriken, die eine leistungsfähige Verminderung der Schwefel- oder der NO_x-Emissionen oder beides betreiben. Allerdings haben einige Fabriken ein sinnvolles Bündel von Techniken in die Tat umgesetzt. Bei allen Fallbeispielen werden die Abgasemissionen mit modernen Reinigungsanlagen wie Elektrofiltern und mehrstufigen Wäschern (4 bis 6 Stufen) gereinigt. Die Emissionen aus Produktionsprozessen umfassen diejenigen aus dem Rückgewinnungskessel und flüchtige Emissionen, soweit diese erfasst und im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt werden.

Es ist anzumerken, dass ein direkter Vergleich der Emissionsniveaus zwischen den Ländern aufgrund der Ungewissheit bezüglich der Datenbasis (fehlende einheitliche Analysenmethoden und Berechnungsverfahren für die Ermittlung der Emissionen) schwierig ist.

Berichtete Werte zu den Abgasemissionen aus Sulfitzellstofffabriken (Jahresmittelwerte)

Beispiele für Sulfitzellstoff -fabriken	Emission von gasförmigem Schwefel aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel (SO_2) in kg S/t	Emission von NO_x (Summe aus NO and NO_2, angegeben als NO_2) aus dem Laugen-Rückgewinnungskessel in kg NO_x/t	Bemerkungen
Fabrik 1, D	0,95	2,7	5-stufiger Wäscher
Fabrik 2, D	0,7	2,2	
Fabrik 3, D	1,5	2,8	
Fabrik 4, D	0,75	1,1	
Fabrik 5, D	1,1	2,2	
Neusiedler, A	0,13	1,5	Ammoniakeindüsung
Hylte, S	0,6	1,1	
Utansjö, S	1,46	0,85	Einsatz von sehr wenig Öl im Laugen-Rückgewinnungskessel
Nymölla, S	1	1,84	Bei einem der beiden Rückgewinnungskessel ist mit der Harnstoffeindüsung begonnen worden (30% Verminderung)

Anmerkungen:
n/v = Daten nicht verfügbar; A = Österreich; D = Deutschland; S = Schweden
Die Emissionen aus den Hilfskesseln sind in den Angaben nicht enthalten

Tabelle 3.17: Beispiele erreichter Abgasemissionsniveaus aus einigen gut betriebenen, bestehenden Zellstofffabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997 für die deutschen und 1998 für die österreichischen und schwedischen Fabriken)
Die gesamten Prozessemissionen beinhalten nicht die Hilfskessel. Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig verstanden werden. Sie enthält Fabriken aus verschiedenen europäischen Ländern mit Zellstoffproduktion. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes.

In Abhängigkeit von den Art der umgesetzten spezifischen prozessintegrierten Maßnahmen und von den technischen Verhältnissen in der jeweiligen Fabrik können für die Abgasemissionen mit dem Einsatz der BVT im Allgemeinen folgende Emissionswerte erreicht werden:

Parameter	Einheiten	Fabriken zur Herstellung von gebleichtem Zellstoff
Gesamtstaub	kg/t	0,02 - 0,15
SO_2 als S	kg/t	0,5 - 1,0
NO_x als NO_2	kg/t	1,0 - 2,0

Tabelle 3.18: Abgasemissionsniveaus aus dem Aufschlussprozess (Laugen-Rückgewinnungskessel und flüchtige Emissionen) bei Einsatz einer geeigneten Kombination von besten verfügbaren Techniken (Emissionen aus Hilfskessels sind nicht enthalten)

Tabelle 2.43 ist im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen zu verstehen. Soweit Konzentrationswerte für Abgasemissionen angegeben werden, beziehen sich diese als Tagesmittelwerte auf trockenes Abgas bei den Standardbedingungen 273 K, 101,3 kPa. Der Bezugssauerstoffgehalt beträgt für Laugen-Rückgewinnungskessel 5 %.

Staubemissionen: In Sulfitzellstofffabriken werden die Stäube durch Elektrofilter und mehrstufige Wäscher vermindert. Durch Einsatz von Elektrofiltern und Wäschern können im Allgemeinen für Laugen-Rückgewinnungskessel Staubemissionen zwischen 5 und 20 mg/Nm^3 bzw. zwischen 0,02 und 0,15 kg Gesamtstaub/t Zellstoff (bei einem spezifischen Abgasvolumenstrom von 6000 - 7000 m^3/t Zellstoff) erreicht werden.

SO_2-Emissionen: Die Reduktion der SO_2-Emissionen aus den Abgasen durch Absorption in einer alkalischen Flüssigkeit wird als BVT angesehen. Es ist eine Abscheideleistung von mindestens 95 % erreichbar. Bei Laugen-Rückgewinnungskesseln, die mit einem mehrstufigen Wäscher ausgerüstet sind, können SO_2-Emissionen zwischen 50 und 150 mg S/Nm^3 bzw. 0,3 – 1,0 kg S/t Zellstoff erreicht werden.

NO_x-Emissionen: Die Emissionen von Stickoxiden können zum einen durch die Brennerkonstruktion (Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen) und zum anderen durch modifizierte Verbrennungsbedingungen (Primärmaßnahmen) vermindert werden. Die Konzeption eines Laugen-Rückgewinnungskessels (gestufte Luftzuführungssysteme) kann zu vergleichsweise niedrigen NO_x-Konzentrationen führen. Erreichbare Emissionen liegen im Bereich von 200 - 300 mg NO_x/Nm^3 bzw. 1,0 – 2,0 kg NO_x/t Zellstoff.

Sekundäre Maßnahmen zur Verminderung von NO_x-Emissionen wie die selektive, nicht-katalytische Reduktion (SNCR) sind üblicherweise nicht in Betrieb. Sie sind dennoch verfügbar.

Geruchsbelastete Gase: Geruchsbelastete Gase aus der Zellstoffherstellung werden erfasst und im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt. Ein Zusatzsystem für den Fall des Ausfalls des Hauptsystems wird als BVT angesehen.

Hilfskessel
In Abhängigkeit von der aktuellen Energiebilanz einer Fabrik, den eingesetzten externen Brennstoffsorten und dem Verbleib möglicher Biobrennstoffe wie Rinde und Holzabfall sind Abgasemissionen aus Hilfskesseln zu beachten. Die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus aus Hilfskesseln, in denen fabrikeigene Biobrennstoffe und verschiedene fossile Brennstoffe verbrannt werden, sind in Tabelle 2.44 wiedergegeben. Die gesamten Abgasemissionen sind sehr standortspezifisch (z.B. Brennstoffsorte, integrierte oder Marktzellstofffabrik, Stromerzeugung).

Es ist anzumerken, dass Hilfskessel in der Zellstoff- und Papierindustrie von sehr unterschiedlicher Größe sein können (von 10 bis über 200 MW). Bei kleineren Kesseln können zu vernünftigen Kosten nur die Verwendung von Brennstoff mit niedrigem S-Gehalt und Verbrennungstechniken zum Einsatz kommen, während für größere Anlagen auch Verminderungstechniken in Frage kommen. Dieser Unterschied spiegelt sich in Tabelle 2.44 wider. Die obere Grenze der angegebenen Bereiche gilt für kleinere Anlagen und kann ausschließlich durch die Brennstoffqualität und durch interne Maßnahmen erreicht werden; die untere Grenze (in Klammern) ist mit

zusätzlichen Verminderungsmaßnahmen wie SNCR verbunden und kommt als BVT nur für größere Anlagen in Frage.

Emittierte Stoffe	Kohle	Schweröl	Gasöl	Gas	Biobrennstoffe (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoff-einsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 – 200 [1] (50 - 100)[5]	25 - 50	<5	< 15
mg NO_x/MJ Brenn-stoffeinsatz	80 - 110 [2] (50 -80 SNCR)[3]	80 – 110 [2] (50 –80 SNCR)[3]	45 - 60 [2]	30 - 60 [2]	60 – 100 [2] (40 – 70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] at 6 % O_2	10 – 40 [4] at 3 % O_2	10 - 30 3 % O_2	< 5 3 % O_2	10 - 30 [4] at 6 % O_2

Anmerkungen:
1) Die Schwefelemissionen aus öl- oder kohlebefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Öl oder Kohle mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine bestimmte Reduzierung der S-Emissionen kann durch Einblasen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Es wird nur Verbrennungstechnologie eingesetzt.
3) Sekundärmaßnahmen wie SNCR werden auch eingesetzt; nur bei größeren Anlagen
4) Erreichte Werte bei Einsatz von Elektrofiltern
5) Bei Einsatz eines Wäschers; wird nur bei größeren Anlagen eingesetzt

Tabelle3.19: Abgasemissionsniveaus für Hilfskessel bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe

In modernen, nichtintegrierten Fabriken übersteigt die mittels Schwarzlauge und Rindenverbrennung erzeugte Wärme den für den gesamten Produktionsprozess benötigten Energiebedarf. Allerdings wird Heizöl für bestimmte Gegebenheiten wie das Anfahren von Anlagen und in vielen Fabriken auch für den Kalkofen benötigt.

Feste Abfälle

1. Weitestgehende Verminderung des Anfalls von festen Abfällen und, soweit wie möglich, ihre Rückgewinnung, Rückführung und ihr Wiedereinsatz.
2. Separate Erfassung der Abfallfraktionen am Ort ihrer Entstehung und, falls erforderlich, Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfall, um eine sachgerechte Aufbereitung der übrig bleibenden Abfallstoffe zu ermöglichen (z.B. externe Verwendung).
3. Verbrennung der gesamten, nicht gefährlichen organischen Stoffe (Rinde, Holzabfall, Klärschlamm etc.) in einem Hilfskessel, der speziell für die Verbrennung von feuchten Brennstoffen mit niedrigem Heizwert ausgelegt ist (z.B. Wirbelschichtkessel).
4. Soweit möglich, externe Wiederverwendung von Reststoffen/Abfall als Ersatzstoffe in der Forstwirtschaft, Landwirtschaft oder in anderen Industrien.

Es ist anzumerken, dass hinsichtlich der erreichbaren Abfallmengen wenig detaillierte und verlässliche Informationen verfügbar sind. Es fehlen statistische Angaben und in Europa gibt es für die unterschiedlichen Abfallfraktionen verschiedene Begriffe. Einige Länder machen nur zu solchen festen Abfällen Angaben, in erster Linie anorganische feste Abfälle, die nicht länger rückgeführt und wieder eingesetzt werden können, sondern auf einer Deponie abgelagert werden müssen. Dies bedeutet, dass bereits alle organischen Abfälle, die einen vernünftig hohen Heizwert besitzen und/oder die ohne Risiko im Hinblick auf die Emission von gefährlichen Stoffen im Hilfskessel einer Fabrik verbrannt werden können, nicht in den anfallenden Abfallmengen beinhaltet sind (Rinde und Holzabfall, Primär- und Belebtschlamm aus der Abwasserbehandlung). Folglich besteht der auf einer Deponie abzulagernde Abfall hauptsächlich aus Kesselaschen, Schlamm, etwas Holz- und Rindenabfall, Rejekten und sonstigen Reinigungs- und gemischten, hausmüllähnlichen Abfällen. Andere Fabriken verbrennen die gesamte Fraktion organischer Abfälle einschließlich des Schlammes in einer Verbrennungsanlage auf dem Fabrikgelände. Diese Fabriken haben sehr geringe, wenn überhaupt, Abfallmengen, die deponiert werden müssen.

Da zu dieser Thematik ausreichende Informationen fehlen, können erreichbare Werte zur Menge an ungefährlichen festen, zu deponierenden Abfällen nicht angegeben werden. Um einen Anhaltspunkt für die Menge an festem Abfall zu geben, der bei einer die BVT einsetzenden Sulfitzellstofffabrik anfallen kann, wird das Beispiel einer integrierten österreichischen Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfitzellstoff angeführt,

die auf dem Betriebsgelände eine Verbrennungsanlage betreibt. In diesem Fall fallen als Rückstände nach der Verbrennung 3,2 kg TS/t Zellstoff (100 % TS) an, die weiter genutzt werden können. Es wird angenommen, dass Rinde und andere Holzreste sowie der gemischte Schlamm aus der Abwasserbehandlung verbrannt werden. Dabei wird Energie (Dampf) für die Zellstoffproduktion zurückgewonnen.

In allen Fabriken fällt eine kleine Menge gefährlichen Abfalls an. Dieser beinhaltet Öl- und Fettreste, Altöl aus Hydraulikanlagen und Transformatoren, Altbatterien und anderem Elektroschrott, Lösemittel, Farben, Biozide und chemische Rückstände etc.. Normalerweise beträgt die Menge um 0,05 – 0,1 kg/t Produkt.

Energiesparmaßnahmen

Zur Reduzierung des Verbrauchs an Frischdampf und Strom und zur Steigerung der internen Erzeugung von Dampf und Strom stehen mehrere Maßnahmen zur Verfügung

1. Maßnahmen für eine hohe Wärmerückgewinnung und für einen niedrigen Wärmeverbrauch:
- Hoher Feststoffgehalt der Rinde
- Hohe Effizienz der Dampfkessel, z.B. niedrige Rauchgastemperaturen
- Wirksames sekundäres Heizsystem wie z.B. Heißwasser von um 85 °C
- Sorgfältig geschlossenes Wassersystem
- Vergleichsweise sorgfältig geschlossenes Wassersystem in der Bleichanlage
- Hohe Zellstoffkonzentration (MC- oder HC-Technik)
- Einsatz von sekundärer Wärme für die Gebäudeheizung
- Gute Prozesskontrolle

2. Maßnahmen für einen niedrigen Stromverbrauch
- So hoch wie mögliche Zellstoffkonsistenz beim Sortieren und Bleichen
- Geschwindigkeitssteuerung der verschiedenen großen Motoren
- Effiziente Vakuumpumpen
- Sorgfältige Bemessung der Rohrleitungen, Pumpen und Gebläse

3. Maßnahmen für eine hohe Stromerzeugung
- Hoher Kesseldruck
- Auslassdruck des Dampfes in der Gegendruckturbine so niedrig als technisch machbar
- Kondensationsturbine zur Energieerzeugung mittels Überschussdampf
- Hohe Turbineneffizienz
- Vorwärmung der den Kesseln zugeführten Luft und Brennstoff

Die Auswirkung dieser Energiesparmaßnahmen können oft nicht einfach in Form von Werten angegeben werden, da die Verbesserungen von der Situation in der Fabrik vor Einführung der Maßnahmen abhängen.

In vielen europäischen Ländern sind öffentlich zugängliche Informationen über die Energiebilanz ganzer Zellstoff- und Papierfabriken nur spärlich verfügbar. In Europa sind unterschiedliche Berichtssysteme im Einsatz. Auch hängen Energiebilanzen zu einem gewissen Grad von den örtlichen Bedingungen ab. Deshalb sollten die in Tabelle 2.46 angegebenen Bereiche für den Energieverbrauch von Zellstofffabriken nur als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch von Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Sulfitzellstofffabriken genommen werden. Weitere Beispiele für energieeffiziente Sulfitzellstofffabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen könnten der überarbeiteten Version dieses BREFs hinzugefügt werden.

Fabriktyp	Prozesswärme-verbrauch (netto) in GJ/t Zellstoff	Stromverbrauch (netto) in MWh/t Zellstoff	Bemerkungen
Nicht-integrierte Fabrik zur Herstel-lung von gebleich-tem Sulfitzellstoff	16 - 18	0,7 - 0,8	
Integrierte Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfit-zellstoff und von gestrichenem Feinpapier	17 - 23	1,5 – 1,75	Für das Trocknen von Papier wird mehr Energie verbraucht als für das Trocknen von Zellstoff.
Integrierte Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Sulfit-zellstoff und von ungestrichenem Feinpapier	18 - 24	1,2 - 1,5	Füllstoffe und Oberflächenleimung zu 10 – 30 %
Anmerkungen: Die Einheiten können wie folgt von MWh in GJ umgerechnet werden: 1 MWh = 3,6 GJ und 1 GJ = 0,277 MWh			

Tabelle 3.20: Energieverbrauch je Tonne Produkt bei Einsatz bester verfügbarer Techniken für verschiedene Produktionstypen
[Angaben von Jaakko Pöyry, 1998]

Chemikalieneinsatz

1. Verfügbarkeit einer Datenbank, die für alle eingesetzten Chemikalien und Additiven Informationen zur chemischen Zusammensetzung der Substanzen, zur Abbaubarkeit, zu ihrer Toxizität für Mensch und Umwelt und zum Bioakkumulationspotenzial enthält.
2. Das Prinzip der Substitution wird angewandt, z.B. Einsatz von weniger gefährlichen Produkten, soweit verfügbar.
3. Vorbeugung des Eindringens von gefährlichen Stoffen in den Boden und ins Grundwasser.
4. Maßnahmen zur Vermeidung von unkontrollierten Abweichungen vom Normalbetrieb und zur Reduzierung der Folgen von Störfällen.

3.5 Emerging Techniques

No emerging techniques identified. The short description of new pulping processes using organic solvents (organosolv pulping), which are described under Section 2.5 may also be considered by sulphite pulp mills. However, since none of the proposed organosolv processes have been implemented successfully in full scale, it is too early to make a conclusive judgement on that process alternative.

4 MECHANICAL PULPING AND CHEMI-MECHANICAL PULPING

In mechanical pulping the wood fibres are separated from each other by mechanical energy applied to the wood matrix causing the bonds between the fibres to break gradually and fibre bundles, single fibres and fibre fragments to be released. It is the mixture of fibres and fibre fragments that gives mechanical pulp its favourable printing properties. In the mechanical pulping the objective is to maintain the main part of the lignin in order to achieve high yield with acceptable strength properties and brightness. Mechanical pulps have a low resistance to ageing which results in a tendency to discolour.

The main processes and techniques are **S**tone **G**roundwood **P**ulping (SGW), **P**ressure **G**roundwood **P**ulping (PGW), **T**hermo-**M**echanical **P**ulping (TMP) or **C**hemi-**T**hermo-**M**echanical **P**ulping (CTMP). The main raw materials, yields on wood and end-uses of pulps are summarised in Table 4.1.

Pulping Process	Raw materials	Yield on wood	Typical end-uses
Groundwood pulp	Spruce and fir (softwood)	95-97 %	Printing & writing papers and newsprint
TMP	Spruce and fir (softwood)	93-95 %	Printing & writing papers and newsprint
CTMP	Dominantly spruce, but also aspen and beech, NaOH, SO_2 and H_2O_2	90-94 %	Printing & writing papers, tissue and packaging boards

Table 4.1: Main raw materials, yields and end-uses of mechanical pulps

Figure 4.1 gives an overview over the mains steps in mechanical pulping

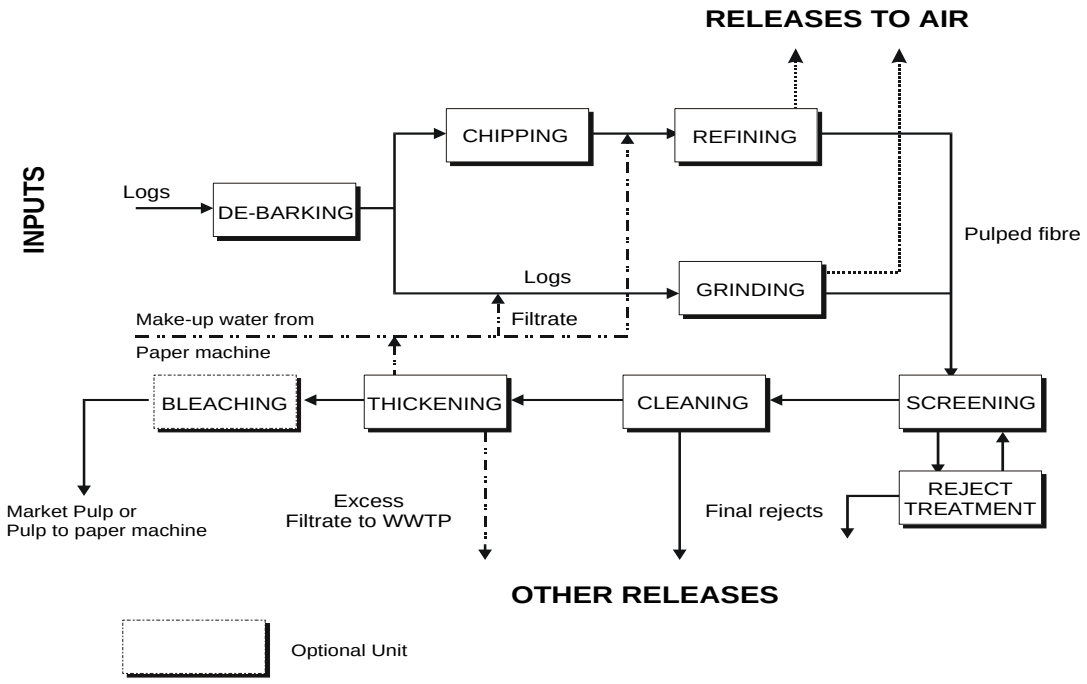


Figure 4.1: Main steps in Mechanical Pulping
[Guidance Note IPR 6/9]

There are two main processes used for the manufacturing of mechanical pulping. In the stone ground wood process (SGW) or in the pressurised ground wood process (PGW) logs are pressed against a rotating grinder stone with simultaneous addition of water. Refiner Mechanical Pulps (RMP, Thermo-Mechanical Pulps = TMP) are produced by defiberizing wood chips between disc refiners. The elements causing the mechanical action - grits on a pulp stone in the grinder and bar edges on a steel disc in the refiner - will give the resulting pulps a typical blend of fibres and fibre fragments. Groundwood pulp has a higher proportion of fine material and damaged fibres giving the pulp good optical and paper-surface properties. The more gentle treatment in the refiners produces a higher yield of intact long fibres which gives the pulp higher strength, which is valuable in furnishes for products with a high requirement on runnability.

The characteristics of the pulp can be affected by increasing the processing temperature and, in the case of refining, by the chemical treatment of the chips. Both steps will increase the energy consumption as well as the pollutant level because of a lower pulping yield. The chemi-thermo-mechanical-pulping process (CTMP), in which the wood is pre-softened with chemicals, is generally considered to be a mechanical pulping technique since the chemicals principally soften the lignin prior to the mechanical stage rather than fully dissolve it out as in true chemical pulping processes.

Most mechanical pulping is integrated with paper manufacture. Mechanical pulp is typically included in a paper furnish to increase the opacity of the paper product.

4.1 Applied Processes and Techniques

4.1.1 Groundwood Pulping

Groundwood pulping consists of a fibre line, reject handling and auxiliary systems. The latter are e.g. storage of chemicals and auxiliary steam and power generation.

The main unit processes of manufacturing of groundwood pulp are shown in Figure 4.2 [CEPI, 1997b]. Groundwood pulp mills are in practice always integrated with a paper mill and therefore the pulp is normally not dried with a drying machine.

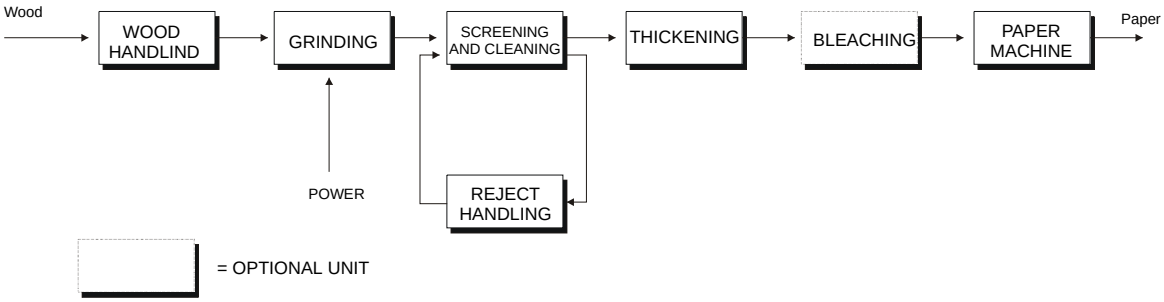


Figure 4.2: Groundwood pulping process

4.1.1.1 Wood Handling

The logs required for the groundwood process are obtained by thinning out forests and are usually 10-20 cm in diameter. If the wood for mechanical pulping is stored, drying should be prevented, e.g. through storage in water or sprinkling of log piles. This may require water collection systems in the wood yard in order to avoid discharge of organic substances collectively characterised as COD and toxicity. The bark has to be removed before the logs are processed. In debarking of pulpwood debarking takes usually place in drums where the contact

between rolling logs and water debarks them. Water is used in debarking often for de-icing and washing of wood in the debarking drum.

4.1.1.2 Grinding

The initial defibration takes place in grinders by forcing logs against special rotating grinding stones with the wood fibres parallel to the axis of a stone, producing a pulp at around 2% consistency. The grinder stones used are as a rule of the ceramic-bound type and have to be resharpened periodically.

Most of the energy put into the grinding process is transformed into heat. Wood is warmed and by presence of enough water lignin bonds are softened and fibres are released from the grinding surface. Grinding stones are cooled with shower water that is used also for disintegration of fibres and transportation to the next process stages. Therefore, for this process the availability of water is of basic importance (heat dissipation and friction reduction of the fibres).

The specific energy requirement (kWh/t) for groundwood production is an important process parameter e.g. an increase in the specific energy requirement is always linked with better strength properties, but also with a lower drainage capacity (freeness).

The superior strength properties of refiner mechanical pulps, especially for TMP, forced further development of the conventional grinding process for competitiveness reasons. The Pressure Grinding Process (PGW) was developed where the grinding process takes place at overpressure (up to around 3 bar). That allows the process to be operated with white water temperatures of 95ºC and grinder pit temperatures of 125ºC. The more intensive softening of lignin associated with this temperatures results in improved groundwood qualities (higher strength) but the technical and financial requirements are considerably higher. Subsequently low-pressure steam is generated when the pulp is de-pressurised. The recovered low-pressure steam is mainly used for the production of warm process water. Another, relatively inexpensive method to improve the quality of groundwood is the thermogrinding process (TGW). In this process the heat losses which result from evaporation in the grinding zone are reduced and the process temperature is optimised without using over-pressure but stability controllers.

4.1.1.3 Screening and Cleaning

All mechanical pulps contain undesired components such as large, insufficiently pulped fragments (e.g. coarse rejects) and the shives that consist of many fibre bundles. The shives have to be removed because they reduce the strength and the printing quality of the paper.

A screening installation consists of various stages in order to reduce the strain on subsequent installations and to save most of the acceptable components contained in the rejects. The screening out of the coarse rejects is easy to perform, but the removal of the shives requires a more elaborated technique. The shive content of unscreened mechanical pulp may be as high as 5% depending on the process used. The purpose of screening is to remove the shives to a large extent and, at the same time, to keep the simultaneous screening out of valuable long fibres as low as possible.

The coarse rejects are removed from the main pulp stream by vibrating flat screens equipped with perforated plates. Hammer mills or pulpers are used for the reduction of the coarse rejects. The retained coarse shives are usually added to the rejects of the fine screening system for further processing by means of filtration through pressure screens which retain shives above a certain size depending on the type of paper required.

The screening process is carried out at high dilutions (below 1 % dry content). The fine screening is followed by a centrifugal separation of fibres and other particles with different specific weights (centricleaners). Separated rejects of the last stage are thickened and treated with special reject handling equipment like reject refiners and are then recycled to the screening process (secondary screens and centricleaners). Accepted pulp from reject handling stages can be recirculated back to the main fibre line. Final rejects are discharged from the process as solid wastes. Depending on the reject handling concept the dry solids content of these wastes may vary between 5-30 % [CEPI, 1997b]. The screening reject rate may be as high as 30% of the inflow and in case of groundwood the energy requirement for screening, thickening and refining the screen rejects are significant (accounting for about 25% of the total energy).

The screened and cleaned mechanical pulp is thickened by use of disc filters or thickening drums and then stored in tanks and storage towers.

4.1.2 Refiner Mechanical Pulps

The objective of the refiner process is the same as that of groundwood manufacturing, i.e. the softening of lignin bonds and fibrillation of the wood fibres.

In refiner mechanical pulping, chips are ground between steel discs with bar patterns in a refiner. Depending on the quality, the refining can be repeated in a second-stage and sometimes even a third-stage refiner. The forces from the impact of the bars cause the chips to break down into fibre bundles, individual fibres and fibre fragments. With the progressing treatment the impact also modifies the walls of the individual fibres. Most of the applied energy (friction work) transforms into heat, which flashes part of the moisture in the chips. To prevent the wood from burning in the refining zone, cooling (dilution) water has to be added. The refiners normally operate at a high discharge consistency (25-50%). The large quantity of steam released in the refining process is normally captured in a heat recovery system for further use.

In the original refiner pulping process (RMP), which is hardly used today, chips were refined at atmospheric pressure. Because of the low temperature the process produced a high amount of damaged fibres but the optical properties of the RMP pulp were relatively good. To improve the pulp quality, process modifications aiming at increased softness of the wood in the refining zone have been applied. These included the preheating of chips (TRMP and TNP) or pressurisation of the refiner (PRMP). These processes produce pulps of slightly higher strength and reduced shive level at almost unchanged optical properties.

A more dramatic strength improvement and shive reduction is gained in the TMP process (4.1.2.1), where the chips are heated under pressurised conditions and the refining is also pressurised.

Mild chemical pre-treatment of the chips also enhances the softening of the wood and improves the properties of pulp produced by refining at atmospheric pressure (CRMP) or pressurised refining (CTMP, 4.1.2.2).

With stronger chemical treatment and refining at atmospheric pressure, pulps with high-strength properties can be produced from both softwood and hardwood. These mechanical pulps (CMP) are comparable to semi-chemical pulps.

4.1.2.1 Thermomechanical Pulping (TMP)

Thermomechanical pulping consists of a fibre line and auxiliary systems. The latter are e.g. reject handling, storage of some chemicals and auxiliary power generation. The main unit processes of manufacturing of TMP are shown in Figure 4.3.

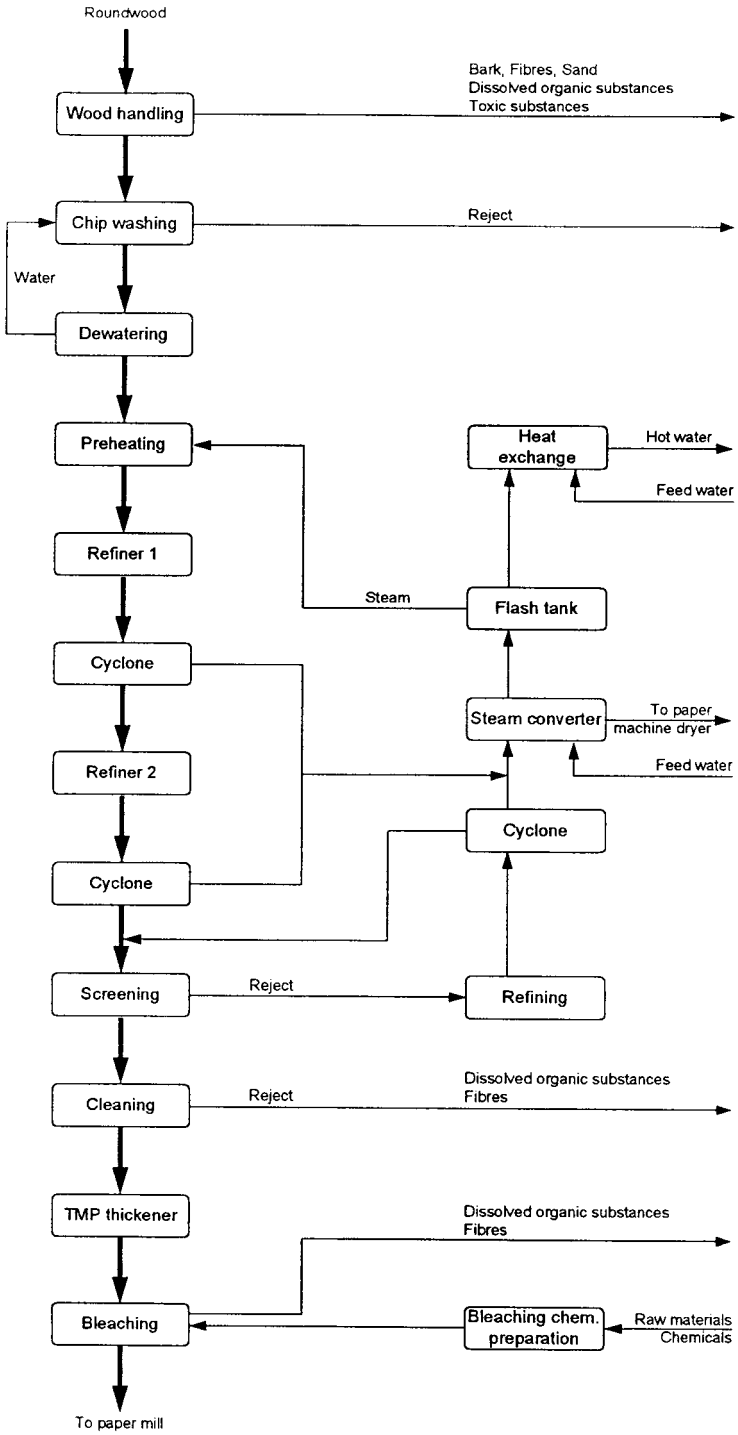


Figure 4.3: Schematic of the TMP process and emissions [SEPA Report 4713-2, 1997]

In the following only the TMP process itself i.e. the main unit processes that have to be distinguished from groundwood pulping from an environmental point-of-view are described in more detail. For screening and cleaning, reject handling, thickening and bleaching of mechanical pulps it is referred to the corresponding paragraphs of Section 4.1.1 and 4.1.3.
In the thermo-mechanical pulping (TMP) process washed and screened wood chips are subjected to thermal pretreatment, and the disintegration and defibration process is carried out in a series of disc refiners at overpressure.

A certain amount of wood can be delivered as woodchips from sawmills. Sawmill and other off-site chips require only screening and storage in the woodhandling. If barked roundwood is used wood is first debarked and chipped. Chips for mechanical pulping must not contain stones, sand, scrap metal or other hard contraries that may cause wear or damage to the refiner plates. In most chips refining processes the chips are therefore washed to remove contraries before refining. This results in a reject from the chip washer as water effluent.

After chipping and washing, the raw material is preheated with steam and then refined either in a single stage at an elevated temperature and pressure or in a two-stage refining system in which the first stage is followed by a second refining stage under pressure or at atmospheric pressure. The pulping of screen rejects is often carried out in the second stage refiner. Part of the organic substances of the wood is dissolved in water and discharged from the process either from the mechanical pulp plant or from the paper machine side.

A large share of the comparatively high amount of electric energy required in refiner mechanical pulping is converted into heat as steam that is evaporated from wood moisture and dilution water in the refiners. Because of the pressurised conditions (excess pressures of up to 5 bar), in many mills, a significant amount of the steam generated may be recovered, cleaned through heat-exchanger to produce clean process steam, e. g. for the use in paper drying. A part of the energy of the released steam may also be recovered as hot water. After refining, the pulp is discharged and diluted, screened and cleaned. After screening follows dewatering and storage in a big pulp tower at high consistency. The application of more mechanical energy instead of chemical dissolution results in more pronounced fibre fragmentation and formation of fine material. The significance of water in the mechanical pulping processes implies that fresh wood is to be preferred as raw material. If the wood for mechanical pulping is stored, drying should be prevented, e. g. through storage in water or sprinkling of log piles. This may require water collection systems in the wood yard in order to avoid discharge of organic substances collectively characterised as COD and toxicity. The use of chips makes refiner-based pulping somewhat more versatile with regard to the supply of the raw material.

Since the wood loss during the TMP manufacturing is very low and most of the wood material is converted into pulp, the heat value of the wastewater in a TMP mill is too low to be recovered in the same way as in a chemical pulp mill (black liquor). This implies that external effluent treatment of the wastewater is normally necessary in a TMP mill.

TMP is nearly almost always produced in connection to a paper mill due to the possibility of reuse the heat from refiners for production of steam and better energy efficiency. Therefore, TMP is not normally dried with a drying machine.

4.1.2.2 Chemi-mechanical Pulping

The addition of chemicals in the refiner process has become important because wood chips can be impregnated very easily. The mild chemical pre-treatment of the chips enhances the softening of the wood and improves the properties of pulp produced by refining at atmospheric pressure (CRMP) or pressurised refining (CTMP). The latter combines the TMP process with a sulfonation of the wood chips. In most cases chemical pre-treatment increases release of pollutants as a consequence of the yield loss caused by the chemical treatment. Different kinds

of treatment are used for different wood species and the properties of the CTMP can be varied to a great extent by changing the amount and the nature of the chemicals. The chemi-mechanical pulping methods produce clean pulps of sufficient strength and acceptable optical properties and can be used as the main fibrous component in printing paper, packaging board and hygienic paper furnishes.

Chemi-mechanical pulping consists of a fibre line and auxiliary systems. The latter are e.g. reject handling, storage of some chemicals and auxiliary power generation. The main unit processes of manufacturing of CTMP can be seen in Figure 4.4.

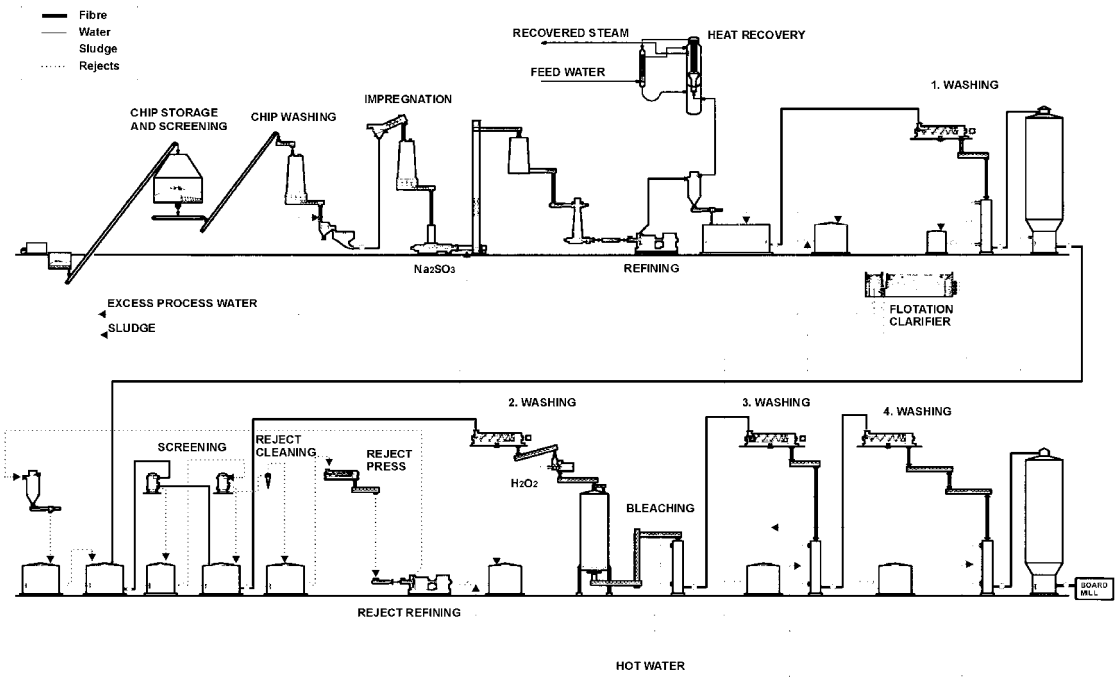


Figure 4.4: Schematic of the CTMP process
[By courtesy of a Finnish mill, 1998]

The CTMP process combines the TMP process with a chemical impregnation of the wood chips. In the following only the CTMP pulping process itself is described i.e. only the main unit processes that has to be distinguished from TMP pulping. For screening and cleaning, reject handling, thickening and bleaching of mechanical pulps it is referred to the corresponding paragraphs of Section 4.1.1 and 4.1.3.

After debarking, chipping, chip washing and screening the wood chips are first impregnated in an impregnation tower where the chips are immersed in an alkaline chemical solution. Sodium sulphite (Na_2SO_3) is mostly used for softwoods, and lately alkaline peroxide has been predominantly used for hardwoods. After chemical impregnation the chips are pre-warmed and their temperature increases further in the 1-2 stages refining machines (rotating refining plates) resulting in softening of lignin bonds and fibres are released. The manufactured CTMP is mixed with recycled process water, which is used also for disintegration of fibres and transportation to the next process stages.

A further development of the CTMP process is the CMP process. With stronger chemical treatment and refining at atmospheric pressure pulps with high strength properties can be produced from both softwood and hardwood. After chemical impregnation the chips are cooked in a temperature ranging from 70-170 ^{o}C. The cooking time depends from the process and can vary

between 15 minutes to a couple of hours. Different kinds of treatment are used for different wood species. Optical properties are drastically reduced and the yield can fall below 90%.

Both the increase in the refining temperature and the use of chemicals (alkaline treatment) increase the generation of pollutants as a consequence of the yield loss in refiner mechanical pulping. In most cases chemical pre-treatment increases the energy consumption. Optical properties are drastically reduced and CMP can only form a minor part of the furnish for printing papers.

CTMP is often produced in connection to a paper or board mill due to the possibility of reuse the heat from refiners for production of steam and better energy efficiency. However, CTMP is sometimes manufactured as market pulp and dried with a flash dryer up to 90 % dry solids content.

4.1.3 Bleaching of Mechanical Pulps

With the increased demand for high-brightness paper and board, the bleaching of mechanical pulps has become more common. The bleaching of mechanical pulp is in principle totally different than that of chemical pulps because it is based on lignin-saving methods instead of lignin-removing ones. The bleaching of mechanical pulps aims at changing chromophoric groups of lignin polymers into a colourless form. Thus, the bleaching of pulp increases primarily the brightness of pulp with minimum losses of dry solids and overall yield from wood. The effect is not permanent and the paper yellows to an extent with time. As it does not result in permanent brightness gain bleached mechanical pulp is more suitable for newsprint and magazine paper than for books or archive papers. The lignin-saving bleaching is carried out in 1-2 stages depending on the final brightness requirements of the pulp. The bleaching stages are distinguished according to the bleaching agent applied

Reductive bleaching uses sodium dithionite ($Na_2S_20_3$)

In dithionite bleaching (symbolic shorthand: S) organic material is not dissolved from the pulp. Typically using 8 to 12 kg dithionite per tonne of pulp this technique results in a minimal yield loss and brightness can be increased by up to 12 units from an initial brightness level of 58-70 ISO to about 70 - 76% ISO [Finnish BAT Report, 1997]. A suitable pH value is 5.6 to 6.5 and a temperature up to 70ºC accelerates the bleaching process. Residual dithionite in the pulp can cause corrosion with metallic components downstream in the process. In most mills a metal chelating agent (e.g. EDTA, DTPA) is used to prevent degradation of the dithionite. The consistency in conventional hydrosulphite bleaching is 3-5%. Medium consistency (MC) pumping has made it possible to bleach at 10-12% consistency with increased efficiency.

Oxidative bleaching using peroxide (H_2O_2)

The yield drop in peroxide bleaching (symbolic shorthand: P) is approximately 2%, mainly due to the alkalinity during the bleaching that results in an increasing dissolving of organic substances out of the wood (and in an increase of pollution load).

Peroxide bleaching influences the pulp properties - in addition to increased brightness, the strength of the pulp improves, the content of extractives is reduced and the water uptake capacity improves. When applying the maximum economical amount of peroxide an increase in brightness of up to 20 units to 78 - 84% ISO can be achieved [Finnish BAT Report, 1997]. The bleaching process results in lower brightness in the presence of heavy metal ions. Therefore, chelating agents (e.g. EDTA, DTPA) are added before bleaching to form complexes with heavy metals (Fe, Mn, Cu, Cr), which prevents the pulp from discolouring and the peroxide from decomposing. EDTA and DTPA contain nitrogen, which will show up in the wastewater. Introduction of a washing stage between pulping and bleaching is effective in reducing the

problematic metals and can thus reduce the amount of chelating agent needed and improve the effectiveness of the applied peroxide. The bleached pulp is finally acidified with sulphuric acid or sulphur dioxide to a pH of 5 - 6. Modern peroxide bleaching is conducted at a consistency level of 25 - 35%.

The two bleaching processes are also used as a combination of the two. A higher final brightness can be reached with peroxide bleaching than with dithionite bleaching but with reduced opacity. The achievable pulp brightness is dependent on the initial pulp brightness that in turn is feedstock and process related. In particular it is not only the wood species but also the degree of decay of the pulpwood, which is important.

4.2 Present Consumption/Emission Levels

4.2.1 Overview of input/output

An overview of raw material and energy input and the output of products, residues for further utilisation and major releases (emissions, waste etc.) of mechanical pulp and paper mills is presented in Figure 4.5.

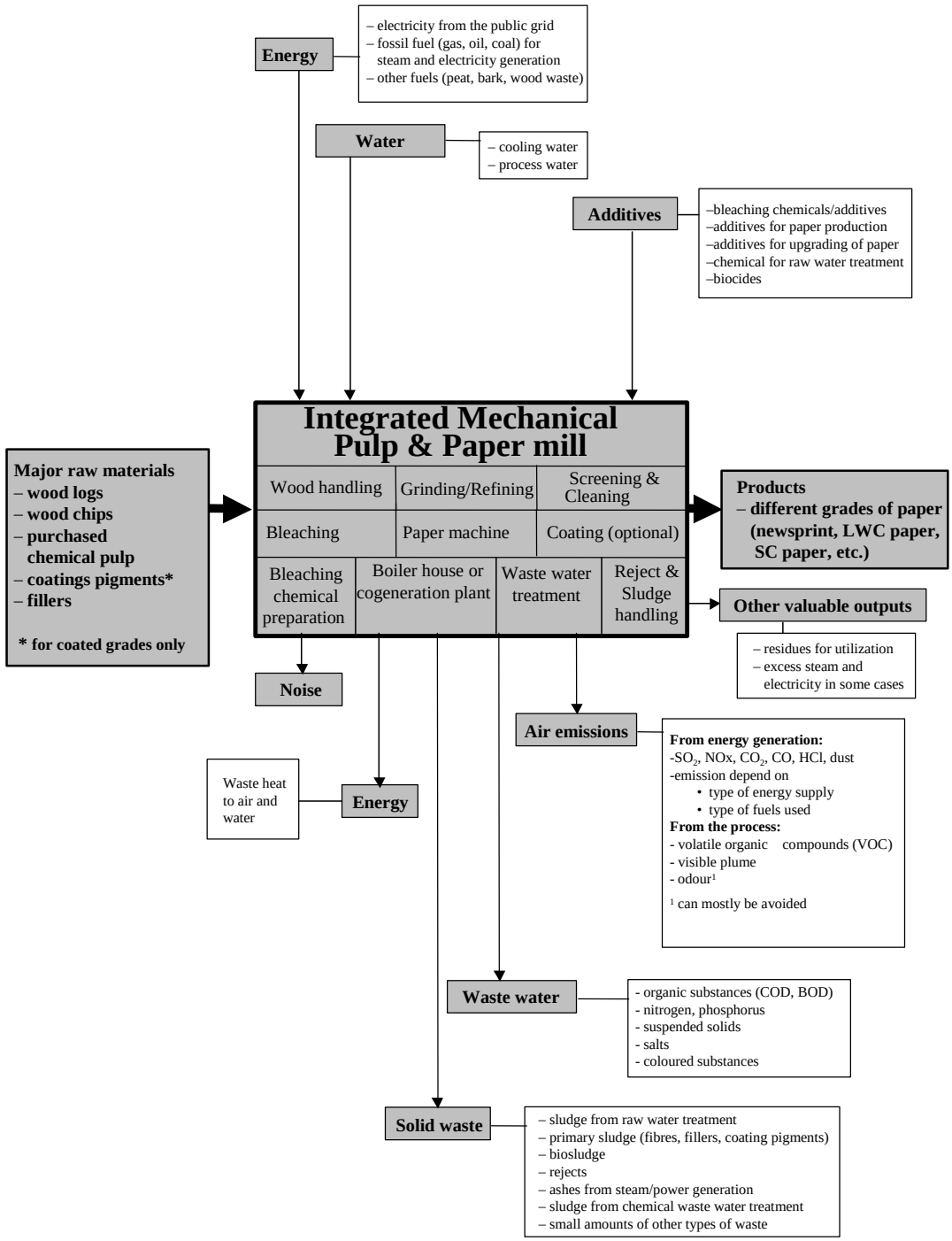


Figure 4.5: Mass stream overview of an integrated mechanical pulp and paper mill
The presence of some of the substances depend mainly on the paper grade and paper properties to be achieved and the type of energy supply

Consumption and emission levels for raw materials used and emissions generated from a whole mill are compiled below. Mechanical pulp mills are mostly integrated with paper production. Furthermore, very often different fibre sources are mixed for the manufacturing of a given paper as for instance chemical pulp, mechanical pulp and de-inked pulp may be mixed and in case of printing papers a relatively high amount of fillers and coatings are used.

Therefore, typical consumption and emission levels for whole mills given in
Table 4.2 and Table 4.3 are related to integrated mechanical pulp and paper mills. They are presented to give a quick overview about the materials used and to provide guidance about the environmental impact to be expected. They are not representative in a sense that the given values cover the whole range of observed values in Europe but represent rather case studies of this type of mills.

The overall consumption and emission levels of an integrated wood-containing paper mill manufacturing coated printing paper (ULWC, LWC and HWC) from TMP are given in
Table 4.2. This mill uses a mix of raw materials as fibre materials consisting of 60% TMP manufactured on site and 40 % purchased pulp (bleached kraft pulp and in a minor quantity de-inked pulp).

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Wood chips from sawmills [1)]	361	kg/t	Printing paper	1000	kg/t
Purchased pulp [1)]	259	kg/t	Excess energy	132	kWh/t
Pigments (kaolin, talc, $CaCO_3$) [1)]	343.5	kg/t	**Emissions**		
Bleaching chemicals/additives [2)]	27	kg/t	CO_2 [3)]		kg/t
Additives for paper production [2)]	4.6	kg/t	$CO_{2,\ regenerative}$ [3)]		kg/t
Additives for upgrading of paper [2)]	57.3	kg/t	NOx [3)]		g/t
Chemicals for raw water treatment	4.2	kg/t	CO [3)]		g/t
Biocides	No data	kg/t	SO_2 [3)]		g/t
			Dust [3)]		g/t
Energy			COD	2.7	kg/t
Natural gas	294	kWh/t	BOD_5	0.17	kg/t
Fuel oil	ca. 3.2	kWh/t	Suspended solids		g/t
Purchased electricity	1852	kWh/t	AOX	< 0.4	g/t
Purchased steam	1140	kWh/t	Nitrogen	24	g/t
			Phosphate	4.3	g/t
Water demand			Wastewater flow	14.1	m^3/t
Surface water	22	m^3/t	Cooling water	12	m^3/t
Well-water	4.4	m^3/t	**Residues**		
Drinking water (sanitary facilities)	0.2	m^3/t	Rejects and sludge (dried to 75 % moisture)	46	kg/t
			Saw dust	8.8	kg/t
			Metal scrap	2.5	kg/t
			Hazardous waste (e.g. used oils, mixtures of solvents)	0.3	kg/t

Explanatory notes:

1) The fibrous material is referred to t absolute dry, i.e. without moisture. In fact, the average moisture content of the raw material used is 50 % for wood chips, 9 % for purchased kraft pulp, 45 % for DIP and 0.2 % for pigments. The moisture content of the final product is about 4 - 5 %.
2) Additives are expressed as commercial solutions containing various amounts of water. As bleaching chemicals are used: 30 kg/t H_2O_2, 15 kg/t NaOH, 15 kg/t sodium silicate and 3 kg/t DTPA. As additives are used: 43 kg/t synthetic binders (latex), < 8 kg/t starch, 1 kg/t retention agent (polyacrylamide), fixing agents, poly DADMAC, hardness stabilisers, various biocides
3) Emissions to air could be calculated from the emissions generated at the external power plant (principle of combined heat and power) that supplies power and steam to the paper mill. The whole electricity required for the TMP plant and 75% of heat needed for the whole site is based on external supply. Natural gas is used for infrared drying. Fuel oil is only used for heating of the buildings.

Table 4.2: Yearly average values (reference year: 1997) of consumption and emission levels from a German mill for the manufacturing of wood-containing printing paper (LWC, ULWC, HWC) based on oxidative bleached TMP (60 % of the fibrous material)
Total production of the mill: 370000 t/a printing paper; The effluents are treated in a two-stage biological treatment (activated sludge)

The overall typical consumption and emission levels of a CTMP mill are given in Table 4.3.

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Wood	1090	kg/t	CTMP pulp	1000	kg/t
Na_2SO_3	25 (20 - 30)	kg/t	Excess energy	600 - 1200 [1)]	kWh/t
DTPA	2 (1 - 2.5)	kg/t	**Emissions**		
Bleaching chemicals (H_2O_2)	10 - 40	kg/t	NOx	250	g/t
Chemicals for raw water treatment	0 - 2	kg/t	SO_2	240	g/t
Sodium silicate	8 - 30	kg/t	Dust	50	g/t
			COD	15 (12 - 25)	kg/t
			BOD_5	1 (0.5 - 2)	kg/t
			Suspended solids	0.5 (0.1 - 2)	kg/t
Energy			AOX	0	g/t
Wood residuals	600	kWh/t	Tot-N	400 (300-500)	g/t
Fuel oil	200	kWh/t	Tot-P	10 (5 - 50)	g/t
Purchased electricity	1800 (1500-3000)	kWh/t	Wastewater	20 (10-30)	m^3/t
			Cooling water	0 - 20	m^3/t
			Residues		
Water demand			Rejects and sludge	30 (15 - 40)	kg/t
Surface water	20 (10 - 30)	m^3/t	Ashes	7	kg/t
			Hazardous waste (e.g. used oils, mixtures of solvents)	10	kg/t

Note:
1) The figures refer to the case that no drying is applied i.e. integrated pulp and paper production. The heat energy may be used in the paper machine.

Table 4.3: Yearly average values of consumption and emission levels from Finnish CTMP mills
The values refer to a non-integrated mill built in 1985 with some modernised equipment; production capacity: 110000 t/a bleached CTMP (CSF 400) for hygiene papers. The values in brackets reflect typical levels from CTMP mills. The effluents are treated in a biological treatment plant (activated sludge)

4.2.2 Consumption and emission levels arising from process units

In mechanical and chemi-mechanical pulping the wastewater effluents, the relatively high consumption of energy that is often generated on site and rejects and sludge from different parts of the manufacturing process and above all from the wastewater treatment plant are centres of environmental concern.

The most relevant consumption of raw materials and emissions to water, air and soil (waste) as well as energy aspects are discussed below covering the following aspects:

- Wood consumption
- Water use
- Wastewater emissions
- Emissions to the atmosphere from: refiners, energy generation and bark boilers.
- Solid waste generation
- Consumption of chemicals
- Use of energy
- Noise

As for the reported emission and consumption figures, it should be borne in mind that, due to the use of some different measurement methods in the various Member States, data are not

always strictly comparable from country to country. (See Annex III for more information on this issue but the different methods used do not alter the conclusions drawn in this document).

4.2.2.1 Wood consumption

In the production of groundwood pulps wood has to be delivered as logs due to the construction of grinding machines. In TMP and CTMP pulping processes wood is used as chips and therefore both processes can use roundwood or chips from sawmills, woodpanel or particleboard industries.

High yields are characteristic for mechanical pulping where the losses occurring during the process, mainly in the form of dissolved ligneous substances, are low. The use of wood is normally between 2.4 m^3/ADt and 2.6 m^3/ADt for groundwood, 2.3 m^3/ADt and 2.8 m^3/ADt for TMP and 2.8 m^3/ADt and 3.0 m^3/ADt of chemithermomechanical pulp [CEPI, 1997b].

4.2.2.2 Water use

In mechanical pulping processes the water systems are usually quite closed in order to maintain high process temperatures. Fresh water is only be used for sealing and cooling as surplus clarified waters from the paper machine are usually used to compensate for the water leaving the circuit with the pulp (5-10 m^3/tonne of pulp) and the rejects. For a TMP mill sources of emissions to water are wood handling, cleaning and bleaching (see Figure 4.3).

Most of the mechanical pulp mills are integrated mills i.e. their water and energy management is closely linked to the paper mill that manufactures different coated or uncoated paper grades. Typical ranges of overall water consumption for GW, TMP and CTMP processes are shown in Table 4.4.

Pulping process	m^3/ADt of pulp
Groundwood	5 - 15
TMP	4 - 10
CTMP	15 - 50

Table 4.4: Water consumption in mechanical pulping
The water consumption of the paper mill is not included

In Figure 4.6 the sources of emissions to water and main substances of concern from a CTMP mill are shown. Strict counter-current water system is applied i.e. clean wash water is used for the last wash press and led towards the fibre flow. The high-polluted filtrate from the first press is send to effluent treatment. The liquid stream after separation of the fibres may be treated by flotation to take out solids from water before sending them to wastewater treatment plant as well. Sealing and cooling waters are collected and used as process water. If the volume of the white water tank is sufficient i.e. no addition of fresh water is needed to keep the tank levels a consumption of about 10 m^3 fresh water per tonne of pulp is required. If the properties of the final product require a low content of extractives (in case of board pulp or fluff pulp) or fines (in case of fluff pulp) some more fresh water may be needed. On the other hand an internal treatment of the white water from the first washing stage by use of a flocculation/ flotation unit results in water consumption below 10 m^3/t. The flocculation-flotation unit removes extractives and fines and about 40 - 50 % of the COD.

4.2.2.3 Wastewater emissions

Figure 4.6 gives an overview about the emissions to water from CTMP mills.

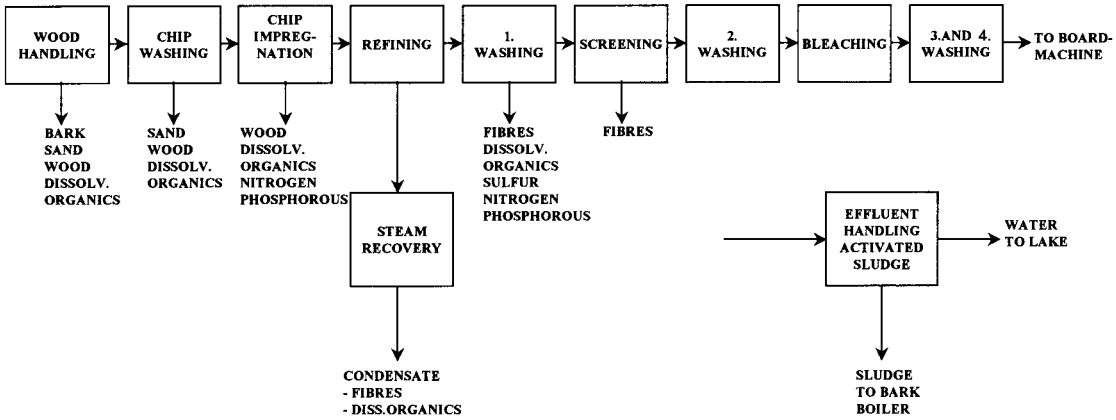


Figure 4.6: Emissions to water from a CTMP mill

Emissions to water are dominated by oxygen consuming organic substances that are lost in the water phase in the form of dissolved and dispersed organic substances. A yield of 92-97 % means that 30-80 kg /tonne of the wood in form of solid and dissolved substances are lost during processing. The yield is dependent on the energy input and the temperature in the process and on the use of chemicals. Wood species, seasonal variations and storage conditions of the wood also influence the amount of dissolved solids. During mechanical pulping, the stability of the cellulose and the lignin is not affected, but simple carbohydrates, hemicelluloses, lignins, extractives (e.g. fatty and resin acids), proteins and inorganic substances including nitrogen and phosphorus are dissolved and dispersed in the process water.
With a decreasing yield and increasing temperature the organic load of the water from pulping increases.

Typical specific loads measured such as BOD_5, COD and nutrients (phosphorus and nitrogen) for different pulps are listed below.

Pulping process	Yield [%]	BOD_5 [kg/t]	COD [kg/t]	Nitrogen [g/t]	Phosphorus [g/t]
GW	96-97	8.5-10	20-30	80-100	20-25
PGW	95-96	10-13	30-50	90-110	20-30
PGW-S	95-96	11-14	45-55		
RMP	95-96	10-15	40-60	90-110	20-30
TMP	94-95	13-22	50-80	100-130	30-40
CTMP (bleached CTMP)	92-94 (91-93)	17-30 (25-50)	60-100 (80-130)	110-140 (130-400)	35-45 (50-60)

Table 4.5: Typical specific loads such as BOD_5, COD and nutrients in water from the mechanical pulping of Norwegian spruce (Picea abies) before external treatment
[Finnish BAT Report, 1997 and figures in brackets based on personal information from Finnish CTMP mills]. BOD_7 has been converted into BOD_5 by use of the formula $BOD_7/1.16 = BOD_5$ proposed within the same report

If mechanical pulp is bleached in an alkaline peroxide step the releases of organic pollutants increase significantly due to the alkalinity during the bleaching. The yield loss in connection with peroxide bleaching is 15-30 kg/tonne corresponding to an additional load of approximately 10-30 kg O_2/tonne measured as COD respectively. The upper values of the table above are related to peroxide bleached mechanical pulps. Whereas in TMP mills using only hydrosulphite as bleaching chemical COD levels of 2500 - 3000 mg O_2/l have been measured referring to a water flow from the TMP mill of 3-4 m^3/t (paper machine not included). A groundwood mill has reported COD concentrations before treatment between 1700 and 2000 mg O_2/l.

The discharge of nitrogen in mechanical pulping originates from the wood and chelating agents (e.g. EDTA; DTPA) used in bleaching. A dosage of 2-3 kg EDTA/tonne of pulp results in an additional discharge of 150-220 g nitrogen/tonne of pulp. The discharge of phosphorus depends on the wood. Emissions of nutrients (nitrogen and phosphorous) are low but may have a negative impact due to eutrophication.

About 20-30% of the bark (referred to dry bark) is water-soluble of which 50-60 % consists of phenolic substances and about 25% soluble carbohydrates. Depending on the storage of wood carboxylic acids and alcohols might also be found in effluent from the debarking plant. Some compounds discharged from mills show toxic effects on aquatic organisms before treatment as e.g. some of the extractive components like resin acids that may be leached from bark in the wood handling. The wastewater from debarking is usually treated together with other wastewater streams in external treatment plants.

Additives used for papermaking may cause a measurable part of the organic discharge after treatment because some substances are heavily degradable.
Emissions of coloured substances may affect the living species in the recipient negatively, since the water transparency is decreased.

The releases after treatment from the mills depend mainly on the design and operation of the processes that cause the major part of discharges and the wastewater treatment plant applied. The efficiency of biological wastewater treatment at mechanical pulp mills resembles that of chemical pulp mills. The COD reduction is however normally higher at levels between 70 and 90%. Moreover, at several plants tertiary treatment is employed which polishes the effluent thereby reducing discharges further. This is particular true for pollutants associated with TSS.

Pulping process	Flow m^3/t	BOD_5 kg/t	COD kg/t	tot-P g/t	tot-N g/t	TSS kg/t
CTMP	8-40	0.5-9	12-30	5-50	200-500	0.1-12
TMP	15-25	0.2-1.7	2- 8	5-15	60-160	0.5-1.5

Table 4.6: Emissions achieved with activated sludge treatment at mechanical pulp mills [Comments from Swedish EPA and information from Finnish CTMP mills]

Much higher values are reported elsewhere for mills employing less effective effluent treatment.

For CTMP plants there are a few alternatives how to treat the wastewaters: the activated sludge treatment in one or two stages with or without a chemical treatment; internal treatment of the first stage white water plus activated sludge treatment for other effluents; evaporation and burning of the most contaminated wastewater and activated sludge treatment of the rest; a combination of anaerobic and aerobic treatment of wastewater. Today the activated sludge treatment is the most common technique and if properly designed a BOD-reduction of 98% and a COD-reduction of 85% is easily reached. The reason why the anaerobic treatment is not used more commonly for CTMP mill effluents is that anaerobic systems are relatively sensitive to disturbances.

There are an increasing number of paper mills in Europe that manufacture and use not only one single type of pulp but different types of pulps at one site. For instance, a paper mill manufacturing mainly newsprint and SC printing papers may use a combination of raw materials like mechanical pulp (groundwood and TMP), de-inked pulp from recycled papers and a certain amount of purchased chemical pulp. In this type of mills the water system is closely linked between the different processes. A German paper mill that manufactures newsprint and SC papers from 45000 t TMP/a, 85000 t/a groundwood, 220000 t/a DIP, 45000 purchased kraft pulp and 93000 pigments has reported organic pollutants before treatment as 14 kg COD/t and 6.3 kg BOD_5/t respectively. After biological treatment in an activated sludge system the following values have been measured: COD: 3.4 kg/t, BOD_5: 0.1 kg/t, total water flow: 12 -13 m^3/t; nitrogen: 0.2-4.2 mg/l, phosphate: 0.3-1.3 mg/l, AOX: 0.11 mg/l.

4.2.2.4 Emissions to the atmosphere

Volatile Organic Carbons (VOC)

Atmospheric emissions from mechanical pulping are mainly linked to emissions of VOC. Sources of VOC emissions are evacuation of air from chests from wood-chips washing and other chests and from sparkling washer where steam released in mechanical pulping processes contaminated with volatile wood components is condensated.

The concentrations of volatile organic compounds depend on the quality and freshness of the raw material (wood) and the techniques applied. The emitted substances include acetic acids, formic acids, ethanol, pinenes and turpenes. A German TMP mill has reported the following concentrations of organic substances **before** external treatment:

Process stage	Emission of organic substances
Sparkling washer	- total organic C: 6000 mg/m^3 (highest individual value: 9600 mg/m^3) - pinenes [1]: 13000 mg/m^3
Washing of wood-chips	- total organic C: 300 mg/m^3 - pinenes [1]: 500 mg/m^3
Evacuation of air from other chests	- total organic C: 150 mg/m^3 - pinenes [1]: 50 mg/m^3
1) Mostly pinenes ($C_{10}H_{16}$) but also including other volatile organic substances of class III of the German Technical Instructions on Air Quality Control; if the total mass flow is > 3 kg/h the mass concentration shall not exceed 150 mg/m^3	

Table 4.7: Emissions of volatile organic compounds from a German TMP mill before treatment
A CTMP mill reported 200 g terpenes per tonne of pulp before treatment

There are different options to reduce the VOC emission. Recovery of turpenes from those contaminated condensates that contain mainly turpenes or incineration of the exhaust gas in the on-site power plant or a separate furnace are available alternatives. In that case, about 1 kg VOC/t of pulp is emitted from the process. Some VOCs may be released from wastewater treatment and unquantified emissions also occur from chip heaps.

An overview of the emissions to the atmosphere from a CTMP mill is shown in Figure 4.7.

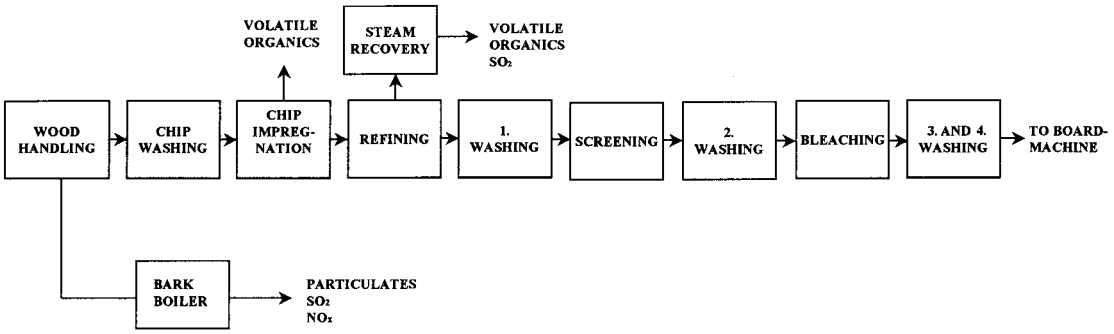


Figure 4.7: Emissions to the atmosphere from CTMP mills

The atmospheric emissions originate mainly from chip impregnation and steam recovery (VOCs) and the bark boilers where wood residuals are burned (particulates, SO_2, NOx).

Emissions from energy generation

Like in other pulp and paper mills, mechanical pulping generates emissions to the air that are not process- related but mainly related to energy generation by combustion of different types of fossil fuels or renewable wood residuals. The fossil fuels used are coal, bark, oil and natural gas. In a typical integrated paper mill that uses mechanical pulp high-pressure steam is generated in a power plant. The energy is partially transformed into electricity in a back pressure turbo-generator and the rest is used in paper drying. The power plants burning solid fuels have electrostatic precipitators for the removal of particulates from the flue gases. The emission of sulphur dioxide is limited by using selected fuels. Depending on the local conditions there are paper mills in Europe using different amounts of energy from external supply.

Emissions from bark boilers

For refiner mechanical pulps the removed bark is usually burned in bark boilers. Together with the bark parts of the rejects and sludge might be incinerated. There are some mechanical pulp mills that use no roundwood as raw material but wood chips from sawmills.

4.2.2.5 Solid waste generation

The solid waste removed from the mechanical pulping processes consists of bark and wood residues from the debarking, washing and screening of chips (about 1.5 % reject), fibre rejects (primary sludge), ash from energy production and excess sludge from external biological wastewater treatment. The wood-containing residues are usually burned in the bark boiler. Ashes are usually disposed off or used in the building material industry.

The biggest waste fraction consists of different types of sludge mainly fibre containing primary sludge and excess sludge from biological wastewater treatment. The amount of waste for disposal can be reduced by increase of the de-watering performance of the sludge press. If the sludge has to be transported for further treatment e.g. incineration it is reasonable to dry the sludge with excess heat from the process (e.g. hot air) up to 75 % dry solid content.

The options for further use depend on the quantities and qualities of the sludge produced. Primary sludge may be used as additional material in the brick industry or may be incinerated on or off site. For suitable solutions for further treatment of sludge and rejects it is reasonable to held different types of sludge separately.

A chemical analysis of primary and secondary sludge from a German mechanical pulp and paper mill showed the following results:

Parameter	Unit	Primary sludge	Excess sludge
Dry solid content	%	47.9	31.7
Volatile solids	% DS	33.2	48.3
TOC	% DS	19	23
Arsenic	mg/kg DS	1.6	2.3
Lead	mg/kg DS	41	22
Cadmium	mg/kg DS	< 0.67	<0.67
$Chromium_{total}$	mg/kg DS	24	17
Copper	mg/kg DS	238	71
Nickel	mg/kg DS	5.7	7.5
Mercury	mg/kg DS	0.08	0.09
Zinc	mg/kg DS	141	135

Table 4.8: Composition of primary sludge from sedimentation tanks and composition of excess sludge from the activated sludge plant
Report from a German mechanical pulp mill (GW & TMP)

4.2.2.6 Consumption of chemicals

The main chemicals used for mechanical pulping are bleaching chemicals and in case of CTMP the chemicals used for impregnation of the wood chips.

If dithionite bleaching is applied ($NaHSO_3$) a maximum charge of dithionite of about 8 to 12 kg per tonne of pulp is mixed to the pulp. In most mills a metal chelating agent (e.g. EDTA, DTPA) is added.

Oxidative bleaching with peroxide (H_2O_2) is carried out in the pH range of 10-10.5. The pH has to be adjusted with sodium hydroxide (NaOH). The maximum economical amount of peroxide is 3 - 4% (50% solution) of the amount of pulp. Sodium silicate is added (1.5 - 4 % of the amount of pulp) to buffer the pH and stabilise the peroxide. Chelating agents (e.g. EDTA, DTPA) are used to form complexes with heavy metals (Fe, Mn, Cu, Cr), which prevents the pulp from discolouring and the peroxide from decomposing. The dosage of chelating agents is about 5 kg per tonne of pulp. EDTA and DTPA are heavily degradable and contain nitrogen, which will show up in the wastewater. The bleached pulp is finally acidified with sulphuric acid or sulphur dioxide to a pH of 5-6.

The ranges of chemicals used vary largely because they depend on the main process used for bleaching of the mechanical pulp. For instance, if reductive dithionite bleaching is used H_2O_2, NaOH, $NaSiO_3$, H_2SO_4/SO_2 are not used at all ("0"). Furthermore, the quality of the wood is an important factor. The pulping of chips from shavings from saw mills result in a lower initial pulp brightness (5 - 6 points lower) than the pulping of wood chips from fresh round-wood. Therefore, the latter needs less bleaching chemicals to achieve a comparable brightness. For fresh pulpwood less polluting reductive bleaching might be sufficient.

Substances	Amount of chemicals used for GWP [kg/t]	Amount of chemicals used for TMP [kg/t]	Amount of chemicals used for CTMP [kg/t]
$NaHSO_3$	0 - 12	0 - 12	-
H_2O_2	0 - 30	0 - 40	0 - 40
NaOH	?	0 - 20	0 -25
$NaSiO_3$	0 - 40	0 - 40	0 - 40
EDTA/DTPA	0 - 5	0 - 5	0 - 5
H_2SO_4/SO_2	-	-	0 - 10
Na_2SO_3	-	-	25 - 30

Table 4.9: Consumption of main chemicals in kg/t for bleached grades of mechanical pulp
All chemical consumption are expresses as commercial solutions containing various amounts of water

In integrated mechanical pulp mills a lot of other additives may be used depending on the final paper product (further information on the use of additives can be found in 0).

4.2.2.7 Energy use

The specific energy consumption in mechanical pulping is dependent on the particular pulping process, the properties of the raw material and, to a large extent, the quality demands on the pulp set by the end product. The freeness value (Canadian Standard Freeness = CSF) characterises the drainage properties of the pulp and is usually used for specifying the quality of the pulp. A low freeness value indicates a slow draining pulp with a high degree of fibrillation. For the manufacturing of a pulp with lower freeness (better strength) the energy input in the grinding or refining is increased. Besides the drainage properties, the distribution between long fibres and fine material in a specific pulp and the softness of the fibres is controlled by the energy input. The type of paper and board in which mechanical pulp is used determine the requirements for freeness, brightness and other properties. Wood containing printing paper, e.g. LWC, SC magazine paper (freeness 20-60 ml CSF) and newsprint (freeness 80-150 ml CSF) are the most common products. The pulps are also used in paper board (freeness 450-750 ml CSF), tissue (300 ml CSF) and fluff (700 ml CSF).

Only a portion of the mechanical work put into the grinder or refiner is used to liberate the fibres in the wood. The rest of the applied energy is converted through friction into heat and some of this can be recovered as hot water or steam that can be used for drying of the final product. The greatest potential for energy recovery from mechanical pulping is limited to that part of the process carried out under pressure. The amount of recoverable energy is not a constant percentage of the total energy input over the range of freeness because e.g. lower freeness pulp involves more secondary or tertiary refining at atmospheric pressure. Typical ranges of energy consumption and recovery rates are shown in Table 4.10.

Mechanical pulp and freeness, ml CSF	Energy consumption (kWh/t of pulp)	Recoverable energy as hot water [%]	as steam [%]
GW 350-30	1100-2200	20	
PGW 350-30	1100- 2200	30	20
PGW-S 350-30	1100-2300	30	20
RMP 350-30	1600-3000	30	20
TMP 400-30	1800-3600	20	40-45
CTMP 700-30	1000-4300	20	40-45

Table 4.10: Energy consumption and recovery of energy in mechanical pulping [TEKES, 1997]. Energy consumption refers to oven dry (100%) pulp. These figures are only average numbers, which may deviate ±10%, due to local mill circumstances and also due to measuring inaccuracies

Thus, for instance for groundwood, the energy consumption ranges from about 1100 kWh/t at CSF 350 to about 2000 kWh/t at CSF 40 with no energy recovery. The PGW variant consumes from about 1300 kWh/t at CSF 300 to about 2300 kWh/t at CSF 40 but up to 30% of the gross energy input may be recovered as hot water by exchanging against the hot pulp. Up to 30% of the energy may be recovered as hot water with RMP and up to a total of 60-65% for TMP as hot water and steam. With TMP operating at about 6 bar pressure the process produces up to 2 tonnes of steam per tonne of pulp or about one tonne of steam per MWh of the refiner. Generally, the amount of recovered steam depends on the specific energy consumed and is some 2 tonnes per tonne of pulp at a pressure of 2 to 4 bar.

Generally TMP consumes more energy than groundwood pulping. For instance, groundwood pulp used for SC paper and newsprint production consumes in total about 2200 kWh/t and 1600 kWh/t respectively, whereas TMP consumes about 3600 kWh/t and 2500 kWh/t respectively.

Table 4.11 shows the energy consumption in the form of heat and electric power in a Swedish TMP mill with a production of 500000 t/a newsprint and Table 4.12 shows the energy balance for the same mill.

Department	Process heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Wood handling	150	50
Refining	0	2110 [1]
Washing and screening	0	50
Bleaching	0	75
Bleach chemical preparation	0	5
Bleached stock screening	0	35
Power boiler	0	25
Total pulp mill	**150**	**2350**
Stock preparation	0	235
Paper machine	5300 [1] [2]	350
Total paper mill	**5300**	**585**
Effluent treatment	**0**	**39**
Total per tonne of paper	**5450**	**2974**

Notes:
1) From a Finnish integrated TMP mill higher electricity consumption in the range of 2400 kWh/t was reported for the refining stage (including reject refining) and a lower value of 4800 MJ/t process heat consumption for the paper machine respectively [Finnish comments].
2) A Swedish newsprint mill reports a heat demand of about 4 GJ/t for drying paper, a need that will be reduced by about 10% with a future shoe-press installation.

Table 4.11: Energy consumption in an integrated mill with a production capacity of 500000 t/a newsprint from TMP
[SEPA Report 4712-4, 1997]

A modern Finnish integrated CTMP mill reported the following figures for electric power consumption: wood handling 20 - 30 kWh/Adt, refining (CSF 450) 1600 - 1900 kWh/Adt, bleaching and screening about 500 kWh/Adt. In total about 2100 - 2400 kWh/Adt are required.

Department	Heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Pulp mill		
Recovered steam, only for process use [1]	+1500	
Power boiler, process steam (only own bark)	+1500	
Turbine generator		+100
External supply	0	+2289
Consumption	-150	-2350
Effluent treatment	0	-39
Excess energy from pulp mill	**+2850**	**0**
Paper mill		
Consumption	-5300	-585
External supply [1]	+2450	+585
Total external supply	**2450**	**2874**

Notes:
1) From the Finnish paper maker point of view the heat recovery of TMP process is significantly higher. For an integrated 250000 t/a newsprint mill based on TMP a heat recovery value (recovered steam) of 3450 MJ/t was reported. Thus, in this case there is no need for external supply of heat [Finnish comments]

Table 4.12: Energy balance for an integrated Swedish mill manufacturing 500000 t/a of newsprint from TMP
[SEPA Report 4712-4, 1997]

The energy balance and the degree of heat recovery depend amongst other things on the energy prices in the given country. If the energy from the public grid is relatively cheap mills may only run a small power plant for steam production (e.g. a bark boiler) that is needed for the paper machine and the TMP mill will be operated with purchased electricity. The recovered energy from the refiners will be sufficient to produce the heat needed for a second paper machine. Countries with comparatively higher prices for electricity tend to install bigger power plants for power generation on site resulting in generating a surplus of heat (less heat recovery).

In Table 4.13 the values for energy consumption of a Finnish non-integrated CTMP mill are compiled.

Department	Heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Pulp mill		
Recovered steam, only for process use	+ 2700	
External supply	0	+1650
Consumption	0	-1600
Effluent treatment	0	-50
Excess energy from pulp mill	**+2700**	**0**
Pulp dryer		
Consumption	-5600	- 150
Steam boiler (wood residuals & fuel oil)	+2900	+ 150
Total external supply	**2900**	**1800**

Table 4.13: Energy balance for a non-integrated Finnish CTMP mill (CSF 400 ml)

4.2.2.8 Noise (local)

The debarking plant and to less extent the paper machine and the refiners generates noise that can be controlled by carefully insulating the debarking house. Trucks and other vehicles used to transport the huge amounts of raw materials and products respectively can cause noise in the vicinity of the mill.

4.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden

In diesem Abschnitt sind alle **relevanten** Techniken aufgeführt, die gegenwärtig sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen für die Vermeidung von Emissionen/Abfall und für die Reduzierung von Energie- und Rohstoffverbrauch verfügbar sind. Diese Liste von Techniken ist nicht erschöpfend und kann bei der Überarbeitung dieses Dokuments fortgeführt werden. Diese Techniken betreffen prozessbezogene und Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen und stellen Verbesserungsmöglichkeiten dar, die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung zu erreichen.

Tabelle 3.11 bietet einen Überblick über die Techniken zur Reduzierung der Emissionen aus dem mechanischen und chemisch-mechanischem Aufschluss. Die einzelnen verfügbaren Techniken sind jeweils in einer Tabellenreihe zusammengestellt.

Es wurde versucht, in derselben Tabelle zu jeder Technik mögliche Verlagerungseffekte anzugeben. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, die Verlagerungseffekte so zu beschreiben, dass keinerlei kontroverse Diskussion ausgelöst wird. Bei der Bewertung der Verlagerungseffekte gibt es eine Vielzahl von Grauzonen. Weiterhin können sie von anderen Techniken abhängen, die mit der gegebenen Maßnahme zusammenhängen, vom Bezugspunkt, mit dem eine Technik verglichen wird, und von den betrachteten Systemgrenzen. Deshalb sollte die qualitative Bewertung der Verlagerungseffekte nur als Orientierungshilfe für Betreiber und Aufsichtsbeamte verstandenen werden. Sie nennt die Nebenwirkungen, die mit einer Maßnahme möglicherweise verbunden sein können und ist nicht mehr als der Ausgangspunkt für die Betrachtung von Verlagerungseffekten. Die Ergebnisse der Bewertung sollten nicht als zwingend angesehen werden. Weiterhin können einige der Verlagerungseffekte durch die Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vermieden werden. Die Verlagerungseffekte hängen auch von den spezifischen Verhältnissen jeder Fabrik ab. Deshalb kann eine generelle Aussage schwerlich getroffen werden.

Allerdings dürfte die Tabelle aufzeigen, auf welche Umweltmedien (Wasser, Luft, Abfall und Energie) die jeweilige Maßnahme abzielt. Die entsprechenden Abschnitte zu der detaillierten Darstellung jeder Technik liefern weitere Erklärungen.

Von einigen Ausnahmen abgesehen, haben Fabriken zur Herstellung von Holzstoff eine integrierte Papierfabrik. Deshalb gibt es bestimmte Überschneidungen zwischen dem mechanischen Aufschluss und der Stoffaufbereitung auf der einen und der Papierherstellung mit den damit verbundenen Prozessen auf der anderen Seite. In diesen Fällen werden zu den jeweiligen Kapiteln Querverweise gegeben. Dies betrifft vor allem den Wassereinsatz bzw. die Wasserkreislaufführung. Diese können nicht getrennt von der Papierfabrik dargestellt werden.

Schließlich können einige Maßnahmen und Ansätze zur Verbesserung des Umweltschutzes sowohl für Papierfabriken, die Holzstoff einsetzen, als auch für andere Papierfabriken angewandt werden. Diese Maßnahmen und Ansätze werden auch mit einem Querverweis versehen, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden und um die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen der Herstellung der verschiedenen Papiersorten aufzuzeigen.

In den Spalten wird durch die nach oben und nach unten gerichteten Pfeile ("↑" und "↓") die Tendenz der Auswirkungen angedeutet, die durch die verschiedenen Techniken hinsichtlich Emissionen, Rohstoffverbrauch und Betriebsverhältnissen in der Fabrik ausgelöst wird. Nach unten gerichtete Pfeile "↓" weisen auf Einsparungen bei Rohstoffverbrauch und Energieeinsatz und auf Reduktionen von Emissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden hin. Nach oben gerichtete Pfeile "↑" deuten auf eine Erhöhung der Emissionen, des Verbrauchs an Rohstoffen und Energie sowie auf Auswirkungen auf den Produktionsprozess hin. Einige der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung betreffen gleichzeitig mehr als ein Umweltmedium (Wasser, Luft oder Boden). Einige Techniken können eine positive und/oder negative Auswirkung auf andere Umweltmedien oder auf den Rohstoff- und Energieverbrauch haben (Verlagerungseffekte). Die auftretenden Auswirkungen werden mit den Pfeilen ausgedrückt. Bei der Einführung einer bestimmten Maßnahme bedeutet ein in Klammer gesetzter Pfeil "(↑)" eine leichte, oft vernachlässigbare Erhöhung des Rohstoff- und Energieverbrauchs oder von Emissionen in die Umwelt. Die wirtschaftlichen Aspekte (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Tabelle nicht enthalten,

werden aber im Text erklärt. Die Angaben zur Wirtschaftlichkeit können nur ein ungefähres Bild liefern und deuten so die Größenordnung der Kosten an. Sie variieren mit der Konzeption der gesamten Anlage und hängen unter anderem von der Größe der Fabrik und der Verträglichkeit der Maßnahme mit anderen Anlagenteilen ab.

Jede Technik ist mit der Kapitelnummer versehen, um das Auffinden des entsprechenden Textabschnittes zu erleichtern, in dem jede einzelne Technik im Detail dargelegt ist.

Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden	**Auswirkungen auf die Verbauchs- und Emissionsniveaus (Verlagerungseffekte)**					
	Chemikal.-verbrauch	Energie- (E) und Wasser- (W) verbrauch	Abwasser-emissionen	Abgas-emissio.	Fester Abfall	Bemer-kungen
4.3.1 Minderung der Emissionen vom Holzplatz	0	0	↓	0	0	
4.3.2 Trockenentrindung	0	E ↑ Entrinden W ↓	↓ CSB, ↓abf.St. ↓Menge	0	0	
4.3.3 Weitestgehende Minimierung der Rejektverluste	0	E ↓	↓	0	↓	
4.3.4 Weitestgehende Minimierung der Deponierung von Rejekten	0	E ↓ Verbrennen E ↑ Entwässerung	0	(↑)	↓	
4.3.5 Effizientes Waschen und Prozesskontrolle	↓ Bleichen	(↑) Wäsche (Strom)	↓	0	0	haupts. CTMP
4.3.6 Wasserkreislaufführung in Zellstoff- und Papierfabriken	0	W ↓	↓	0	0	
4.3.7 Behandlung des Abwassers aus CTMP-Anlagen. Schließung der Wasserkreisläufe mittels Eindampfung und Verbrennung der Konzentrate	0	↓ (W), ↑ (E)	↓	(↑)	↓	nur CTMP
4.3.8 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.9 Wärmerückgewinnung von den Refinern	0	E ↓	0	↓	0	
4.3.10 Verminderung der VOC-Emissionen aus der Freisetzung von Dampf in die Atmosphäre	0	0	0	↓	0	
4.3.11 Emissionsoptimierte Verbrennung von festem Abfall mit Energierückgewinnung	0	E ↓	0	(↑)	↓	
4.3.12 Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen	0	0	↓	0	0	haupts. CTMP-Anlagen
4.3.13 Biologische Abwasserbehandlung	↑	E ↑	↓	↓ Geruch	(↑)	Fester Abfall kann verbrannt werden
4.3.14 Dritte Stufe zur Abwasserbehandlung	↑	E ↑	↓	0	(↑)	Fester Abfall kann verbrannt werden
Legende/Fußnote: ↑ = Erhöhung; ↓ = Reduktion; O = keine/oder vernachlässigbare Auswirkung; (↑) oder (↓) = geringer Einfluss in Abhängigkeit von den Bedingungen						

Tabelle 4.14: Übersicht über verfügbare Techniken für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und chemisch-mechanischem Holzstoff und ihre Auswirkungen auf die Umwelt bzw. auf den Anlagenbetrieb

4.3.1 Minderung der Emissionen vom Holzplatz

Es sind keine Daten eingegangen.

Diese Technik wird für den mechanischen Aufschluss als relevant angesehen, da das Holz für den mechanischen Aufschluss frisch gehalten werden muss und nicht trocken werden darf. Oft werden die Holzprügel zur Vermeidung des Austrocknens mit Wasser besprengt.

4.3.2 Trockenentrindung

Es wird auf Kapitel 2.3.1 verwiesen.

4.3.3 Weitestgehende Minimierung der Rejektverluste durch Einsatz leistungsfähiger Anlagen zur Rejektbehandlung

Beschreibung der Technik:
Grundsätzlich sind zwei Verfahren zur Abtrennung der Verunreinigungen aus dem Zellstoff verfügbar:

- Zentrifugalreiniger, in denen Partikel abgetrennt werden, die schwerer als die Fasern sind
- Drucksortierer, die mit Löchern oder Schlitzen versehen sind, über die Grobstoffe abgetrennt werden.

Sowohl aus den Zentrifugalreinigern als auch aus den Drucksortierern enthalten die Rejekte eine hohe Menge an Fasermaterial. Dieses Material wird in verschiedenen, hintereinander geschalteten Sortierern oder Zentrifugalreinigern zurückgewonnen. Mit dieser Anordnung können eine beträchtliche Rohstoffmenge eingespart und die Fracht der zur Kläranlage abgeleiteten abfiltrierbaren Stoffe reduziert werden.

Sortieren und Reinigen des Holzstoffs
Der Sortierprozess beim mechanischen Aufschluss hat eine andere Zielsetzung als beim chemischen Aufschluss, bei dem die Rejekte aus der Faserlinie abgezogen werden. Im Gegensatz zu letzterem besteht der hauptsächliche Zweck darin, Fasermaterial als Grobstoff (Splitter) abzutrennen und nach geeigneter Behandlung in die Faserlinie zurückzuführen. Die Rejektbehandlung ist fabrikspezifisch und es sind viele Lösungen möglich. Die Sortier- und Reinigungssysteme bestehen oft aus in Reihe geschalteten Prozessen (Kaskadenprinzip). Der Nachteil dieser Systeme ist, dass sie im Vergleich zu Systemen mit Vorwärtsschaltung schlechter kontrollierbar sind.

Der Holzstoff wird mit Druck- und Zentrifugalsortierern gereinigt und sortiert. Die Sortierung erfolgt mit Löchern (Durchmesser: 1 - 2 mm) oder Schlitzen (Weite: 0,15 – 0,35 mm) bei einer Konzentration von 1,3 % oder höher. Im Vergleich zur herkömmlichen Sortiertechnologie bei niedriger Konsistenz hat der Betrieb bei 3 % in einigen Fällen zu einem verminderten Gehalt an Splittern von 60 % geführt.

Zentrifugalreiniger werden oft in Ergänzung der Sortierer eingesetzt. Das damit zurückgehaltene Rejektmaterial unterscheidet sich mit seinem Gehalt an steifen Partikeln mit kleiner spezifischer Oberfläche von den Rejekten der Sortierer. Der bedeutendste Nachteil von Zentrifugalreinigern besteht in der niedrigen Stoffkonsistenz (0,5 – 0,7 %), der mit einer spezifischen Wassermenge von 150 - 200 m^3/t Holzstoff einhergeht. Aber von diesem Wasser kann das meiste zurückgeführt und für andere Zwecke in der Holzstofffabrik eingesetzt werden. Heutzutage erwägen viele Fabriken wieder den Einsatz von Zentrifugalreinigern in der Holzstofflinie und betrachten sie als Alternative in den Papierfabriken.

Rejektmahlung
Zur Rückführung von sortierten und gereinigten Rejekten zur Hauptfaserlinie werden diese üblicherweise in ein bis zwei Stufen mittels rotierender Refinerscheiben gemahlen. Der zu Beginn auftretende Aufschluss der groben Faserbündel findet im Refiner in der Brecherzone statt, in der das Grobmaterial in einzelne Fasern überführt wird. Die Fasern treten durch die Zentrifugalkräfte durch einen dünnen Spalt hindurch und werden bei hoher Holzstoffkonsistenz (30 - 45 %) intensiv behandelt.

Die Rejektmenge kann im Bereich von 20 - 30 % liegen und der Energieverbrauch beträgt um 10 - 40 % des Gesamtenergiebedarfs für den mechanischen Aufschluss. Wenn eine wirksame Rejektrückgewinnung und –rückführung erforderlich ist, können TMP-Linien für eine beispielsweise 20 %ige Rejektmahlung, die anhand der Kapazität der Faserlinie berechnet wird, bemessen werden.
Die Rejekte aus den letzten Sortier- und Reinigungsstufen, die nicht zur Faserlinie zurückgeführt werden können, werden aus dem Prozess als feste Abfälle ausgeschleust oder in einem Kessel verbrannt.

Eine wichtige Aufgabe besteht darin, wie die Rejekte von einem Sortierer in die Faserlinie zurückgeführt werden können. In der Kaskadenschaltung werden die Rejekte nach ihrer Abtrennung zu einer Stelle im Prozess

vor ihrer Entnahme zurückgeführt (im Gegenstrom). Dies führt zu großen Kreislaufwassermengen, besonders bei Systemen mit hohen Rejektflüssen. Der Vorteil der Kaskadenschaltung besteht darin, dass das Risiko eines zu hohen Splittergehaltes im Akzeptstrom minimiert wird.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Technik der Einführung von zusätzlichen Reinigungsstufen und der Rejektmahlung kann sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken angewandt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Durch die Technik werden die Faserverluste reduziert und der Abfallanfall um einige Prozent vermindert. Die Verminderungsraten hängen vom Niveau des effizienten Rohstoffeinsatzes vor Einführung von Verbesserungsmaßnahmen ab.

Verlagerungseffekte: Die Rejektmahlung erhöht den Energieverbrauch. Der Dampf eines Rejektrefiners wird normalerweise nicht zurückgewonnen. Allerdings haben die Rejekte bereits die sehr energieintensive Mahlstufe durchlaufen, sodass durch die Reduktion der Rejektverluste insgesamt Energie eingespart wird. Deshalb ist die Nettoenergiebilanz dieser Maßnahme positiv. Die Reststoffe aus diesem Prozess werden vermindert.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Holzstoffkapazität von 700 t/d belaufen sich die Investitionskosten üblicherweise auf 0,8 – 1,1 Mio. EUR und die Betriebskosten auf 0,3 – 0,5 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Grund für die Einführung dieser Maßnahme liegt in der Erhöhung der Rohstoff- und Energieeffizienz. Weiterhin wird die zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitete Fracht an abfiltrierbaren Stoffen, die normalerweise im Absetzbecken zurückgewonnen werden, vermindert.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur
[CEPI, 1997b]

4.3.4 Weitestgehende Minimierung der Deponierung von Rejekten durch Verbrennung mit Energierückgewinnung

Beschreibung der Technik: Die im Zuge der Holzstoffherstellung und der Abwasserbehandlung anfallenden Rejekte und der anfallende Schlamm müssen vor der Entsorgung oder der weiteren Behandlung entwässert werden. Die Entwässerung wird mittels Sieb- oder Schraubenpressen durchgeführt. Mit der Entwässerung soll dem Schlamm soviel Wasser als möglich entzogen werden. Dafür stehen verschiedene Arten mechanischer Einrichtungen zur Verfügung.

- Bandpresse (Doppelsiebpresse)
- Schraubenpresse
- Dekanterzentrifugen

Die meisten in den vergangen 10 - 15 Jahren errichteten Anlagen sind mit Bandpressen ausgestattet, die gut funktionieren und ziemlich hohe Trockensubstanzgehalte erzeugen; 40 - 50% bei Faserschlamm und 25 - 40 % bei gemischtem Schlamm aus Fasern, Belebtschlamm und evtl. Fällschlamm.

Schraubenpressen können auf zwei Arten eingesetzt werden, entweder zur Erhöhung des Feststoffgehaltes nach einer Entwässerung mittels Bandpresse, wodurch eine ca. 10 %ige Erhöhung des Feststoffgehaltes erreicht wird, oder zur direkten Entwässerung, wenn im Vergleich zur Entwässerung mittels Bandpresse höherer Feststoffgehalte erzielt werden können.

Nach der Entwässerung können der Schlamm und die Rejekte zur weiteren Reduktion der zu deponierenden Menge an Abfällen aus dem mechanischen Aufschluss verbrannt werden. Dazu stehen folgende Optionen zur Verfügung:

- Verbrennung zusammen mit Rinde in Rindenkesseln
- Separate Schlammverbrennung

Für die gemeinsame Verbrennung, besonders von Schlämmen mit niedrigem Feststoffgehalt ist für neue Anlagen der Wirbelschichtkessel gegenwärtig am geeignetsten. Dieser kann zu 100 % mit Schlamm betrieben werden, obwohl der Einsatz von Stützbrennstoff (wie Kohle oder Öl) gebräuchlicher ist. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Stützbrennstoff hängt vom Feststoff- und Aschegehalt des Schlammes ab. Im Allgemeinen ist ein Feststoffgehalt von mindestens 35 - 40 % für eine spontan einsetzende Verbrennung erforderlich.

Die separate Schlammverbrennung mit Zuführung des Schlammes über einen bewegten Rost ist ebenfalls erfolgreich im Einsatz.
Auf die detaillierten Darlegungen zur Verbrennung mit Energierückgewinnung wird auf Abschnitt 4.3.11 verwiesen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Verbrennung in Rindenkesseln ist ausprobiert worden und wird großtechnisch in einer Reihe von Fabriken praktiziert. Die Rindenkessel mit Rost können in solche mit Wirbelschicht umgerüstet werden, bedauerlicherweise aber mit erheblichen Investitions- und Stillstandskosten.

Die separate Verbrennung hat sich ebenfalls als praktikable Technologie erwiesen. Sie verbraucht aber normalerweise sehr viel Stützbrennstoff und übliche Schlamm-verbrennungsanlagen sind nicht mit einer Wärmerückgewinnung ausgerüstet, was bedeutet, dass weder Dampf noch Strom produziert werden kann.

Was die Schlammentwässerung anbelangt, sind alle Arten von Pressen mit guten Ergebnissen im Einsatz. Wegen eines gestiegenen Interesses an der Schlammverbrennung wird seit einigen Jahren der vermehrte Einsatz von Schraubenpressen beobachtet, da dafür höhere Feststoffgehalte erforderlich sind. Allerdings bedeutet dies auch zusätzlich Investitionskosten.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: In Abhängigkeit vom Konzept zur Aufarbeitung der Rejekte können die Abfälle von den Rejekten beträchtlich reduziert werden. Normalerweise fallen nur Aschen aus den Verbrennungsanlagen an, die entweder deponiert oder für andere Zwecke (z.B. in der Bauindustrie) eingesetzt werden können.

Verlagerungseffekte: Bei der Verbrennung in Rindenkesseln kann der Energiegehalt, der die Verdampfungswärme des Wassers in den Rejekten übersteigt, zurückgewonnen werden.

Durch die Schlammentwässerung erhöhen sich die Abwasseremissionen, die normalerweise dem Belebtschlammsystem zugeführt werden. Diese sind bei der Planung einer Abwasser-behandlungsanlage zu berücksichtigen. Im Falle der Schlammverbrennung steht die Energieerzeugung in Beziehung zum Feststoffgehalt des entwässerten Schlammes.

Betriebserfahrungen: Diese Verfahren sind in modernen Fabriken seit mehreren Jahren im Einsatz. Die Verbrennung in Rindenkesseln kommt häufiger als die separate Verbrennung vor, da letztere eine unbefriedigende Wärmebilanz aufweist.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bezogen auf eine Holzstoffproduktion von 700 t/d, belaufen sich die Investitionskosten für eine neue Schlamm- und Rejektverbrennungsanlage auf ca. 5 - 7 Mio. EUR und die Betriebskosten auf 0,5 – 0,6 Mio. EUR/a. Die Umrüstung eines rostbefeuerten Kessels in einen Wirbelschichtkessel würde ungefähr 10 - 15 Mio. EUR kosten und die Betriebskosten würden 0,3 – 0,4 Mio. EUR/a betragen.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Grund für die Einführung dieser Technik ist die Reduktion der zu deponierenden Abfälle.

Referenzanlagen: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [J. Pöyry, 1992]

4.3.5 Effizientes Waschen und Prozesskontrolle

Diese Technik betrifft hauptsächlich den chemisch-thermomechanischen Aufschluss (CTMP).

Beschreibung der Technik: Der Waschprozess beim CTMP-Aufschluss ist grundsätzlich dem bei der Herstellung von Zellstoff ähnlich, aber die Anforderungen an die Effizienz sind gewöhnlich weniger anspruchsvoll. Der Zweck besteht hauptsächlich darin, die im Zuge des Mahlens aus den Fasern herausgelösten organischen Stoffe abzutrennen. Der Waschprozess ist oft fabrikspezifisch und es sind viele alternative Lösungen bezüglich Art der Wascheinrichtung etc. möglich.

Die Wäsche von CTMP-Holzstoff ist allerdings etwas schwieriger als das Waschen von Zellstoff und benötigt bezüglich der Wascheinrichtung eine höhere Kapazität. In der Praxis bedeutet dies eine größere Oberfläche der Waschtrommeln der Waschpressen je Tonne Holzstoff. Die Wascheffizienz beträgt üblicherweise 65 - 70 %, berechnet anhand der rückgewonnenen organischen Stoffe. Dies entspricht normalerweise einer Waschstufe, die in Form von Trommelwäschern, Doppelsiebpressen oder Schraubenpressen ausgeführt werden kann.

Durch den Einsatz von mehr in Reihe geschalteter Wascheinrichtungen ist es möglich, die Wascheffizienz auf 75 - 80 % zu verbessern. Es handelt sich dabei normalerweise um die gleichen Wascheinrichtungen wie für die erste Waschstufe.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Durch eine verbesserte Wäsche kann die Konzentrierung der organischen Stoffe in der gleichen Abwassermenge und die Reduzierung ihrer Verschleppung zur Papier- oder Kartonmaschine möglich sein. Dies kann ein Vorteil darstellen, wenn die Abwässer getrennt von den Abwässern aus der Papier- oder Kartonherstellung behandelt werden, wie z.B. in einer anaeroben Behandlungsstufe.

Verlagerungseffekte: Es treten keine wesentlichen Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Weltweit wird die verbesserte Wäsche nur in wenigen integrierten Fabriken praktiziert.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Holzstoffproduktion von 700 t/d betragen die Investitionskosten für neue Fabriken üblicherweise 3 - 5 Mio. EUR und 2 - 3 Mio. EUR für bestehende Fabriken. Es sind keine wesentlichen zusätzlichen Betriebskosten zu erwarten.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die verbesserte Wäsche kann eine bessere Voraussetzung für die anaerobe Behandlung schaffen, soweit diese für den Abwasserteilstrom aus der CTMP-Herstellung einsetzbar ist.
Die Qualitätsgesichtspunkte des hergestellten Kartons oder Papiers können auch Anlass geben, diese Technologie in Betracht zu ziehen.

Referenzanlagen: Es gibt wenige Anlagen in Europa und Nordamerika.

Literatur:
[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1997b]

4.3.6 Wasserkreislaufführung in Holzstoff- und Papierfabriken

Beschreibung der Technik: Das Ausmaß der Wasserkreislaufführung innerhalb des Aufschlussprozesses hängt stark von der Eignung eines spezifischen Wasseranteils für die Wiederverwendung sowie vom Niveau der sich anreichernden Verunreinigungen, das im Prozess tolerierbar ist, ab. In vielen Fällen muss es Stellen für die Abschlämmung und Entsorgung der Verunreinigungen in Form einer Abwasserbehandlung geben.

Normalerweise erfolgt in nichtintegrierten Fabriken die Wasserzubereitung mittels Frischwasser. In integrierten Fabriken deckt das Kreislaufwasser der Papiermaschine überwiegend den Bedarf an Prozesswasser in der Holzstoffanlage.

Innerhalb des mechanischen Aufschlussprozesses kommen grundsätzlich verschiedene Filtrate, Wasser aus Pressen oder aus der Holzhackschnitzel- oder Holzstoffaufbereitung sowie trübes oder klares Kreislaufwasser, das in Einrichtungen zum Auffangen von Fasern anfällt, in Betracht. Diese Ströme werden entsprechend ihrer Verfügbarkeit und Eignung einer spezifischen Verwendung zugeführt. Beim Aufschluss beeinflussen viele Faktoren den machbaren Grad des Wasserrecyclings. Wasserströme, in denen sich unerwünschte Stoffe anreichern, fallen bei der Holz- oder Hackschnitzelvorbereitung, beim Mahlen oder Bleichen an sowie in manchen integrierten Fabriken durch die Gegenstromführung von Papiermaschinen-kreislaufwasser.

An den Stellen im Prozess, in denen gelöste Stoffe anfallen, muss es auch eine Verdünnung zum wirksamen Austrag unerwünschter Stoffe aus dem Holz oder Holzstoff geben. Ansonsten werden sie zu den nachfolgenden Prozessstufen mit dadurch nachteiligen Auswirkungen verschleppt. Weiterhin kann zwischen dem Recycling und der Ableitung von Wasser ein Ausgleich zur Erreichung einer wirtschaftlichen Ausgewogenheit erforderlich sein. Z.B. führt die Ableitung von klarerem anstelle von trübem Kreislaufwasser aus dem Aufschlussprozess zu einer besseren Rückhaltung von Fasern im Holzstoff, wobei aber mehr unerwünschte harzige Stoffe im Holzstoff verbleiben. Im Allgemeinen ist die passende Auswahl von rückführbarem Wasser kompliziert, z.B. wegen der Farbe des Prozesswassers, des pH-Wertes, den gelösten und ungelösten Stoffen einschließlich der Rückstände von eingesetzten Aufschlusschemikalien, wobei letztere unerwünschte chemische Reaktionen oder gar einen erhöhten Verbrauch an Aufschlusschemikalien verursachen können.

Hinsichtlich des Aufschlussprozesses bilden folgende Punkte die Basis für die Reduzierung des Wasserverbrauchs und des Wasserrecyclings:

- Einsatz des Prinzips der Gegenstromwäsche, soweit machbar
- Verbesserte Faserrückgewinnung durch Ableitung von sauberem anstelle von trübem Kreislaufwasser und bei integrierten Fabriken durch Zuführung von überschüssigem Kreislaufwasser aus der Papierfabrik
- Erneutes Austarieren der Tankvolumina, besonders der Kreislaufwassermengen, um den Prozessschwankungen sowie den Anfahr- und Abfahrvorgängen gewachsen zu sein.
- Eindickung des Holzstoffs zum Dickstoff vor seiner Trocknung (oder Zuführung zur Papiermaschine), was sowohl für nichtintegrierte als auch für integrierte Fabriken ein wirksamer Ansatz darstellt, wenn auch aus leicht unterschiedlichen Gründen.
- Einsatz von klarem Kreislaufwasser in Spritzrohren zur Reinigung von technischen Einrichtungen und, soweit möglich, als Spülwasser.

In Abbildung 4.8 sind die Wasseranfall- und verbrauchsstellen in einer integrierten Fabrik zur Herstellung von Holzstoff und Papier dargestellt. Wie illustriert, wird dem Papierherstellungsprozess Frischwasser hauptsächlich über den Blattbildungsbereich der Papiermaschine und den Spritzrohren des Pressenbereichs zugeführt. Im Anschluss daran läuft es verschiedenen Wasch- und Verdünnungsprozessen zu. Wasserkreisläufe sind klar durch Eindickvorgänge voneinander getrennt. Nach letzteren wird das Fasermaterial vor seiner Zuführung zum Aufgabesystem mit etwas sauberem Frischwasser zur Einstellung der Konsistenz verdünnt.

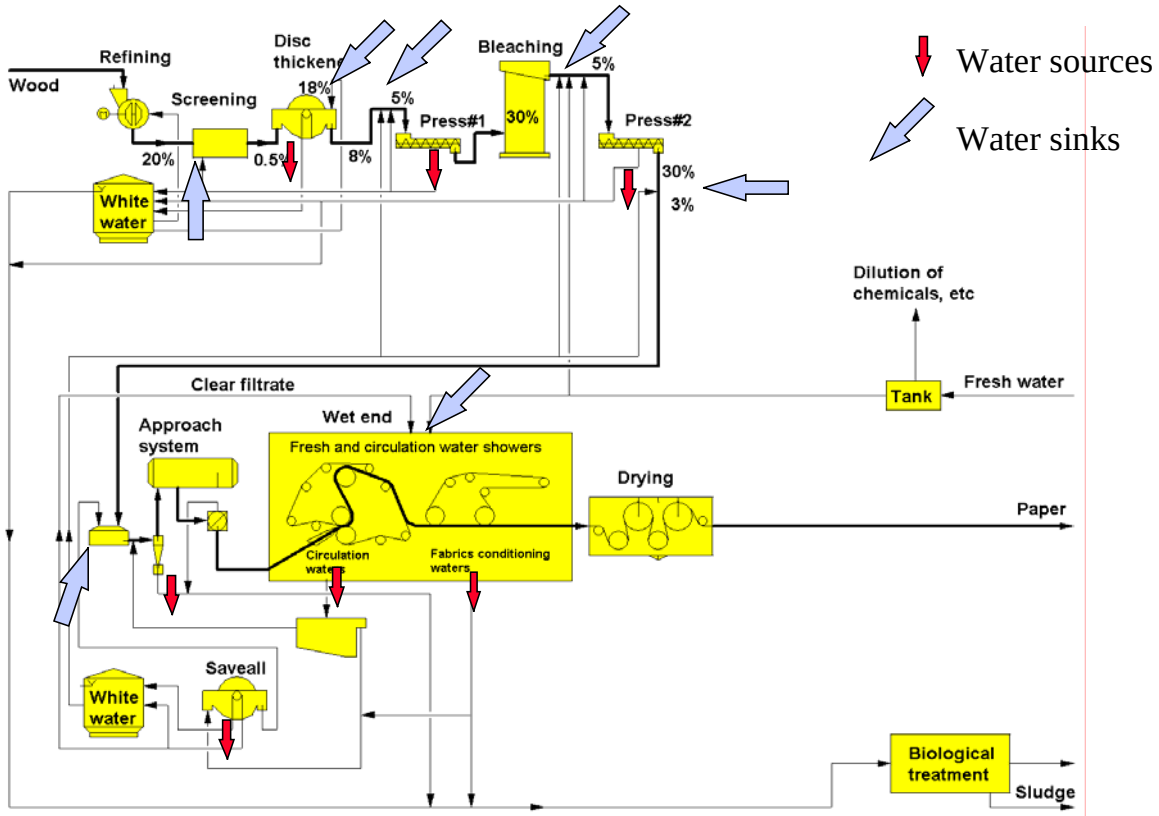


Abbildung 4.8: Wichtigste Stellen für Wasseranfall und –verbrauch in einer integrierten Fabrik zur Herstellung von Holzstoff und Papier
[Edelmann, 1997]
Approach system = Konstanter Teil; Biological treatment = biologische Behandlung; Bleaching = Bleichen; Circulation water = Kreislaufwasser; Clear filtate = Klarfiltrat; Dilution of chemicals, etc = Verdünnung von Chemikalien etc.; Disc thickener = Scheibeneindicker; Drying = Trocknen; Fabric conditioning waters = Wasser für die Konditionierung des Filztuchs; Fresh and circulation water showers = Spritzrohre für Frisch- und Kreislaufwasser; Fresh water = Frischwasser; Paper = Papier; Press = Presse; Refining = Mahlen; Saveall = Auffangvorrichtung für die Entstoffung von Siebwasser; Screening = Sortieren; Sludge = Schlamm; Tank = Behälter; Water sinks = Wasserverbrauchsstellen; Water sources = Wasseranfallstellen; Wet end = Nasspartie; White water = Fabrikationswasser; Wood = Holz

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die verbesserte Wasserkreislauf-führung kann in bestehenden Fabriken eingesetzt werden; in neuen Fabriken werden viele der beschriebenen Konzepte in effizienter Weise angewandt.

Es muss eine Bewertung der Eignung der spezifischen Wasserströme für ihre spezifische Wiederverwendung durchgeführt werden, um nachteilige Auswirkungen auf den Prozess selbst und auf das Produkt zu vermeiden. In bestehenden Fabriken kann eine erneute Austarierung der Speicherkapazitäten für Filtrate, Kreislaufwasser und Holzstoff notwendig sein, um die Frischwasserzubereitung und Abwasserableitungen auf einem Minimum zu halten.

Da die Wassertemperatur beim Aufschluss mit dem Ausmaß der Wasserkreislaufschließung ansteigt, können in bestehenden Fabriken Probleme bei der Holzstoffbleiche und bei der Leistungsfähigkeit von damit in Verbindung stehenden Anlagenteilen, wie den Zentrifugalpumpen, auftreten. Insofern ist auch eine Untersuchung der Energiebilanz erforderlich.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Durch eine wirksame Kreislauf-schließung, die in integrierten Fabriken die Wiederverwendung von Papiermaschinen-kreislaufwasser im Gegenstrom bedeutet, werden die Abwasserableitung und die Faserverluste reduziert. Das Ausmaß der Wasserreduzierung hängt von der Papier-/Kartonqualität ab.

Überwachung der Emissionen: Es wird die kontinuierliche Messung für das Abwasser aus der Holzstoff- und Papierfabrik und die labormäßige Bestimmung der ungelösten und gelösten Stoffe, des pH-Wertes, der Temperatur und des Gehaltes an organischen Stoffen in Form des BSB_5 oder des CSB empfohlen. Es kann auch die on-line-Bestimmung der ungelösten Stoffe oder ein Trübungsmesser eingesetzt werden.

Verlagerungseffekte: Als Ergebnis der wirksamen Wiederverwendung von Wasser im Aufschlussprozess können mehr gelöste und kolloidal vorliegende Stoffe im Holzstoff zurückgehalten werden. Dies muss in der Papiermaschine ausgeglichen werden, um z.B. einen Anstieg der Maschinenstillstände, Änderungen in der Feststoffretention in der Nasspartie oder der Blattentwässerung zu vermeiden.

Betriebserfahrungen: Die angesprochenen Techniken können mit leichten nachteiligen oder ohne Auswirkungen auf den Aufschlussprozess angewandt werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Da die meisten Holzstofffabriken eine integrierte Papierherstellung beinhalten, sind die Maßnahmen zur Verbesserung der Wiederverwendung von Wasser üblicherweise mit der Reduzierung des Wasserverbrauchs sowohl beim Aufschluss als auch bei der Papierherstellung verbunden.

Für eine integrierte Fabrik mit einer Produktion von 700 t/d, die eine Reduzierung des Frischwasserverbrauchs von 20 m^3/t auf 10 m^3/t anstrebt, betragen die Investitionskosten ca. 10 - 12 Mio. EUR.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Reduktion der hydraulischen Belastung und der Fracht an abfiltrierbaren Stoffen ist der Hauptgrund, die Implementierung dieser Technik voranzutreiben. Höher konzentriertes Abwasser kann wirksamer behandelt werden und es sind geringere Investitions- und Betriebskosten erforderlich.

Referenzanlagen: Weltweit praktizieren zahlreiche moderne Fabriken die Wasserkreislauf-führung. Es gibt auch viele ältere Fabriken, die einen Teil der aufgeführten Maßnahmen durchführen.

Literatur
[CEPI, 1997b], [Edelmann, 1997]

4.3.7 Behandlung des Abwassers aus CTMP-Anlagen. Eindampfung und Verbrennung der Konzentrate und Schließung der Wasserkreisläufe

Beschreibung der Technik: Es bestehen ein paar Möglichkeiten, das Abwasser aus CTMP-Anlagen zu behandeln:

- Behandlung in Belebtschlammanlagen in einer oder zwei Stufen mit und ohne chemische Behandlung (siehe 4.3.13). Heutzutage ist die Belebtschlammbehandlung das häufigste Verfahren und bei sorgfältiger Auslegung sehr leistungsfähig. Es kann leicht eine BSB-Reduzierung von 98 % und eine CSB-Reduzierung von 85 % erzielt werden. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die ziemlich hohe Nährstoffkonzentration im Abwasser. Deshalb mussten einige CTMP-Anlagen die Abwasserbehandlung mit einer zusätzlichen chemischen Stufe vervollständigen (siehe 2.3.14).
- Interne chemische Behandlung des Kreislaufwassers aus der ersten Waschstufe und Behandlung des restlichen Abwassers in einer Belebtschlammanlage. Es gibt eine CTMP-Anlage, die das Kreislaufwasser chemisch behandelt, wodurch die Entfernung von extrahierten und Feinstoffen in der nachfolgenden Flotationsstufe möglich wird. Gleichzeitig wird diesbezüglich eine CSB-Reduktion von 40 – 50 % berichtet. Ein Nachteil dieses Verfahrens sind die ziemlich hohen Chemikalienkosten.
- Kombination der anaeroben und aeroben Abwasserbehandlung. Es gibt nur eine Anlage in Schweden (SCA, Östrand), die diese Technik einsetzt. Der Grund dafür, dass die anaerobe Behandlung nicht häufiger eingesetzt wird, liegt in der hohen Störanfälligkeit (zu den Grundlagen siehe 3.3.6 und 5.3.5).
- Eindampfung der konzentriertesten Abwässer und ihre Verbrennung sowie Behandlung der restlichen Abwässer in einer Belebtschlammanlage. Zur Abwassereindampfung ist ein neuer Eindampfer (siehe Abschnitt 4.5.1), der Zedivap-Eindampfer, entwickelt worden. Diese neue Eindampftechnik wird als noch in der Entwicklung befindlich angesehen. Die erste Eindampfanlage ist nun in einer schwedischen CTMP-

Fabrik in Betrieb und befindet sich in der Optimierungsphase zur kontinuierlichen Verbesserung der Verhältnisse. Das Konzentrat soll im Laugen-Rückgewinnungskessel einer nahe gelegenen Sulfatzellstofffabrik verbrannt werden. Die Eindampftechnik ist in solchen Fällen am geeignetsten, in denen die Holzstoffkapazität erhöht werden muss und die biologische Behandlungsanlage zu klein wird. Die Kondensate aus einer solchen Eindampfanlage können in der CTMP-Anlage als Prozesswasser zur beträchtlichen Reduzierung des Frischwasserverbrauchs eingesetzt werden. Die Eindampfung stellt auch in den Fällen eine Alternative dar, in denen die dritte Behandlungsstufe als notwendig erachtet wird, d.h. in solchen Fällen, in denen die Nährstoffkonzentration im Abwasser verringert werden müssen.

- Es ist auch möglich, die gesamten Abwässer einzudampfen und die Konzentrate in einem Laugen-Rückgewinnungskessel zu verbrennen. Dadurch wird kein Abwasser mehr abgeleitet. Die seinerzeit auf der grünen Wiese errichtete Millar Western Pulp (Meadow Lake) Ltd., in Saskatchewan, Kanada, mit einer Produktionskapazität von 240000 t/a Holzstoff, produziert seit 1992 gebleichten CTMP, ohne eine Abwasserleitung zu haben. Die Camp-Anlage verarbeitet Espenholz mittels alkalischem Peroxidaufschluss (APP-Verfahren) zu Marktholzstoff für Tissue und Schreibpapier. Das abwasserlose System wird im Folgenden beschrieben, weil es eine Reihe von Innovationen enthält, die von grundsätzlichem Interesse für diesen Industriesektor sind. Es kann auch in anderen industriellen Bereichen eingesetzt werden, bei denen das Gewässer in verträglicher Art und Weise industrielle Abwässer nicht aufnehmen kann.

Das Meadow Lake-Wasserrecyclingsystem besteht aus sechs Standardverfahren, die in Abbildung 4.9 und Abbildung 4.10 dargestellt sind.

- Entfernung der abfiltrierbaren Stoffe (Krofta-Klärer einschließlich der Möglichkeit Absetzteiche einzusetzen)
- Eindampfung mit mechanischer Brüdenverdichtung (1,5-fach höhere Kapazität als sie der zugrunde zu legenden Abwassermenge entspricht, um eine höhere Flexibilität und Aufnahmefähigkeit zu erreichen)
- Konzentrierung unter Dampfeinsatz
- Konzentratverbrennung
- Destillataufbereitung für die generelle Verwendung in der Fabrik
- Behandlung des Abwassers aus der Seewasseraufbereitung

Wie in Abbildung 4.9 dargestellt, müssen nur die im Laufe der Eindampfung auftretenden Wasserverluste in Höhe von ca. 2 m^3/t ersetzt werden.

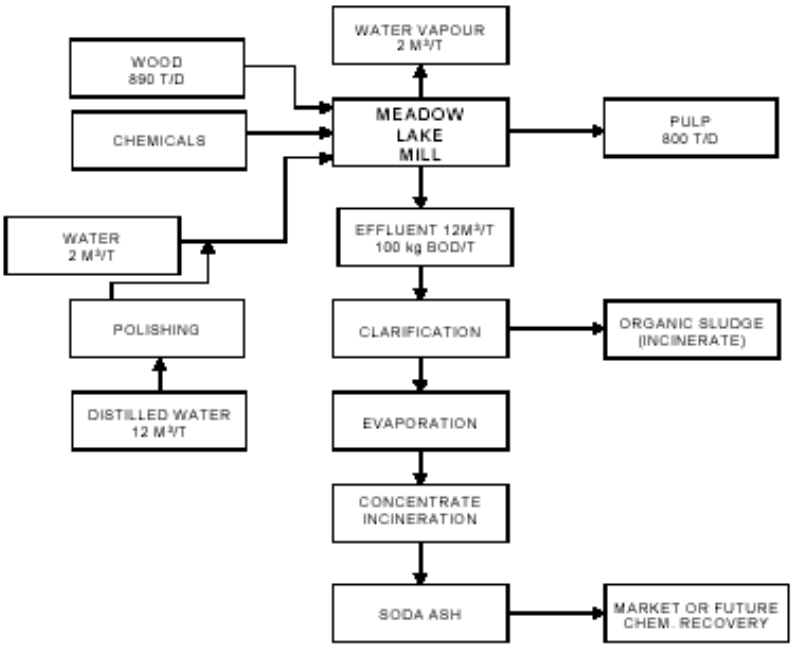


Abbildung 4.9: Wasserrecyclingsystem der CTMP-Fabrik von Meadow Lake
Die Eindampftechnologie wird zum Schließen des Wasserkreislaufs und zur Erreichung abwasserfreier Verhältnisse eingesetzt [Evans, 1992]
CHEMICALS = Chemikalien; CLARIFICATION = Sedimentation; CONCENTRATE INCINERATION = Konzentratverbrennung; DISTILLED WATER = destilliertes Wasser; EFFLUENT 12 M^3/T, 100 kg BOD/T = Abwasser 12 m^3/t, 100 kg BSB/d; EVAPORATION = Eindampfung; MARKET OR FUTURE CHEM. RECOVERY = Vermarktung oder zukünftige Chemikalienrückgewinnung; MEADOW LAKE MILL = Fabrik von Meadow Lake; ORGANIC SLUDGE (INCINERATE) = organischer Schlamm (zur Verbrennung); POLISHING = Schönung; Pulp 800 T/D = Holzstoff 800 t/d; SODA ASH = Natriumcarbonat; WATER = Wasser; WATER VAPOUR = Wasserdampf; WOOD = Holz

Abbildung 4.10 gibt das Abwasserbehandlungskonzept einschließlich der wichtigsten Mengenströme im Zuge der verschiedenen Behandlungsstufen wieder.

Alle Prozessabwasserströme werden zur primären Behandlung gepumpt, mit der die abfiltrierbaren Stoffe entfernt werden. Die abgeschiedenen Feststoffe werden entwässert und verbrannt. Das so geklärte Abwasser kann in außerhalb liegenden Teichen zwischengespeichert werden, um so einen Puffer zwischen der Holzstofffabrik und den Verdampfern zu schaffen.

Das vorgeklärte Wasser wird den Eindampfern mit mechanischer Brüdenverdichtung zugeführt, in denen die Feststoffkonzentration von 2,5 % auf 3,5 % erhöht wird. Das Destillat aus den Verdampfern wird in verschiedene Fraktionen getrennt, um eine Verunreinigung der sauberen Destillate, die 85 % der anfallenden Destillate ausmachen, zu vermeiden. Die Destillatfraktion, die den größten Gehalt an flüchtigen organischen Stoffen aufweist, wird in einem Dampfstripper von den meisten dieser organischen Stoffe befreit. Die so abgetrennten organischen Stoffe werden im Laugen-Rückgewinnungskessel verbrannt. Das meiste Destillat aus der Eindampfung kann unmittelbar in der Holzstofffabrik bei 65 °C eingesetzt werden. Allerdings besteht auch etwas Bedarf an Wasser mit einer Temperatur von 20 - 30 °C. Um dieses Wasser zur Verfügung zu stellen, wird ein Teil des Destillates gekühlt und die kleinen Anteile an flüchtigen organischen Stoffen in einen biologischen Stabilisierungsteich entfernt.

Der Feststoffgehalt im Konzentrat aus den beschriebenen Eindampfern wird in dampf-betriebenen Konzentratoren auf 70 % erhöht. Dieses Konzentrat wird in einem Rückgewinnungskessel verbrannt.
Die Schmelze aus dem Rückgewinnungskessel wird abgekühlt, auf einer Fördervorrichtung gesodet und in einem Bunker gespeichert.

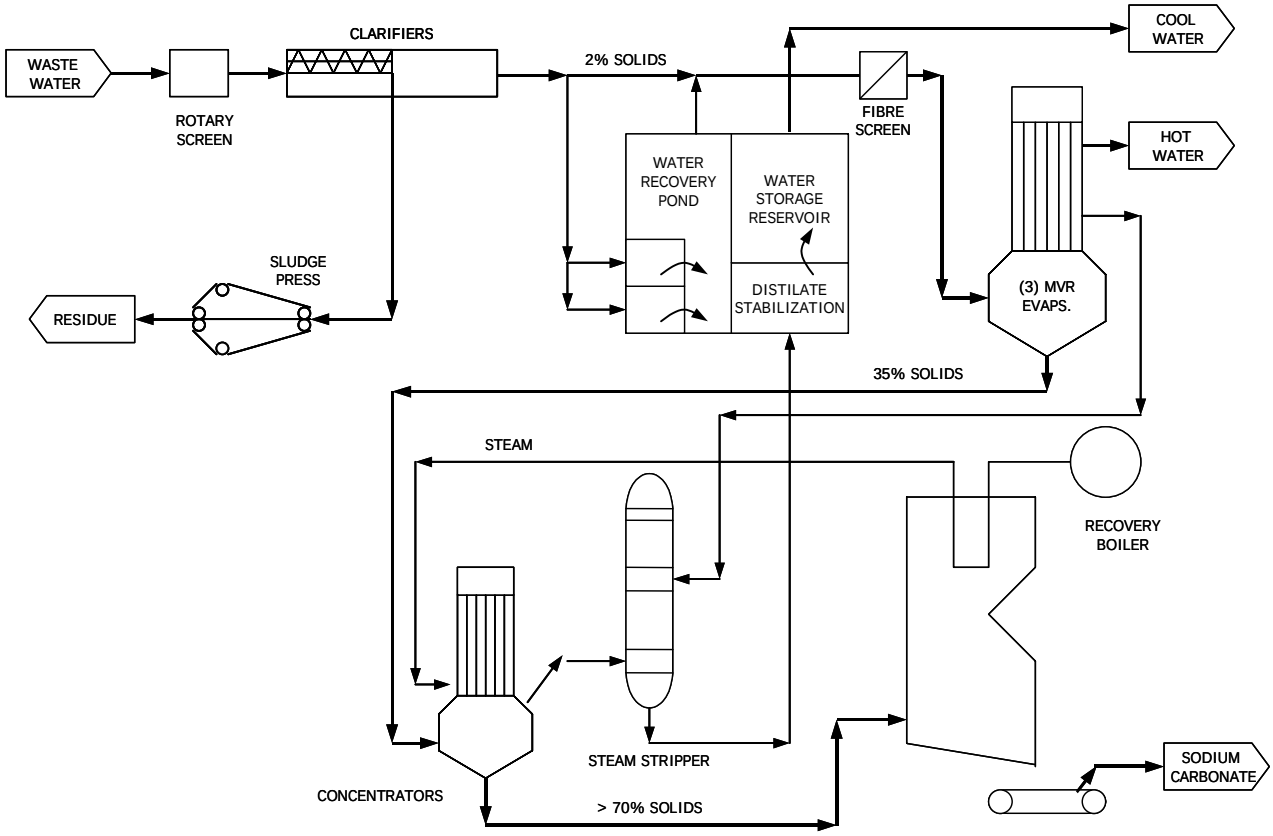


Abbildung 4.10: Abwasserfreies Anlagenkonzept
[Ward, 1993]
FIBRE SCREEN = Faserstoffsortierer; COOL WATER = Kühlwasser; CLARIFIERS = Absetzbecken; CONCENTRATORS = Konzentrierstufen; DISTILATE STABILIZATION = Destillatstabilisierung; EVAPS. = Eindampfer; HOT WATER = Heißwasser; RECOVERY BOILER = Rückgewinnungs-kessel; RESIDUE = Rückstand; ROTARY SCREEN = rotierender Sortierer; SLUDGE PRESS = Schlammpresse; SODIUM CARBONATE = Natriumcarbonat; SOLIDS = Feststoffe; STEAM = Dampf; STEAM STRIPPER = Dampfstripper; WASTE WATER = Abwasser; WATER RECOVERY POND = Wasserrückgewinnungsteich; WATER STORAGE RESERVOIR = Wasserreservoir

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Kreislaufschließung in einer Camp-Anlage ist sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken möglich. Die Begrenzung besteht in den hohen Kapitalkosten für die Eindampfung und in der möglichen Rückgewinnungsanlage (wie bei Meadow Lake). Das beschriebene Verfahren wurde in einer neuen Fabrik auf der grünen Wiese installiert und benötigt viel Platz, der bei bestehenden Fabriken oft fehlt. Die Lösung hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab und ist oft für Fabriken zur Herstellung von Markt-CTMP-Anlagen im Vergleich zu integrierten CTMP-Anlagen unterschiedlich. Beim Einsatz von Eindampfern muss das Bleichen von CTMP modifiziert werden. Beispielsweise kann wegen der Belagbildung kein Natriumsilikat verwendet werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Es findet keine Abwassereinleitung statt.

Überwachung: In einer abwasserfreien Fabrik ist die Überwachung des Prozesses und der technischen Einrichtungen von größter Bedeutung. Es werden unterschiedliche Test-programme, eine kontinuierliche Überwachung anaerober Zustände und Korrosions-erscheinungen sowie ein zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9002 durchgeführt. Diese Maßnahmen werden durch ein analytisches Labor ergänzt, um eine sorgfältige Überwachung der Anlage zu gewährleisten. Ein Beispiel ist das Metallüberwachungsprogramm, das Metallionen im System verfolgt und proaktive Eingriffe hinsichtlich des Schutzes vor Korrosion, Faulvorgängen und Belagbildung erlaubt.

Verlagerungseffekte: Angaben zur Energiebilanz im Vergleich zu herkömmlichen Systemen waren nicht verfügbar. Der Kreislauf an festen Abfällen ist noch nicht geschlossen, was aber bei herkömmlichen Systemen auch nicht der Fall ist. Weitere Verlagerungseffekte sind nicht bekannt.

Betriebserfahrungen: Das Wasserkreislaufsystem führt nicht zu Verlusten in der Holzstoffproduktion und hat keinen negativen Einfluss auf die Holzstoffqualität. Die Firma hat einige einzigartige Methoden entwickelt, die Mitarbeiter in die Managemententscheidungen miteinzubeziehen. Bei Meadow Lake war die Ausbildung der Mitarbeiter entscheidend für die erfolgreiche Inbetriebnahme. Neue Mitarbeiter durchlaufen vor ihrem Arbeitsbeginn eine dreimonatige Unterweisung für ihren Arbeitsplatz. Eine fortwährende Anleitung zur Entwicklung der Fähigkeiten hat dafür gesorgt, dass die Arbeitskräfte auf dem führenden Stand der Technologie und der Betriebsweisen bleiben. Der Ansatz "Sicherheit um jeden Preis" hat zu einer Bindung der Arbeitskräfte an dieses essenzielle Programm geführt und hält einerseits die Moral hoch und andererseits die Versicherungsprämien niedrig. Es werden regelmäßig kleine Teams gebildet, die die Fähigkeit und Autorität haben, Änderungen im Prozess vorzunehmen, soweit der Vorteil solcher Änderungen nachgewiesen werden kann.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Das System weist Betriebskosten auf, die dem Wettbewerb mit dem Wassersystem von herkömmlichen Anlagen zur Herstellung von gebleichtem CTMP mit sekundären Abwasserbehandlungssystemen standhalten. Nach der Optimierungsphase der Abwasserbehandlung sind die Betriebskosten bei Meadow Lake nun niedriger als die Kosten für eine herkömmliche Sekundärbehandlung. Allerdings entstanden für die überdimensionierte Verdampfung und die großzügige Auslegung der Rückgewinnungsanlage sowie der Pufferkapazität für die Abwässer (für 3 Tage) hohe Investitionskosten. Die Attraktivität der abwasserfreien Anlage wird durch die potenzielle Möglichkeit der Chemikalien- und Energierückgewinnung vergrößert, die zur Reduktion der Produktionskosten und zur Amortisierung der Kapitalkosten eingesetzt werden kann. Angaben zu spezifischen Kosten sind nicht verfügbar. Änderungen der rechtlichen Regelungen der Abwassereinleitungen betreffen abwasserfreie Fabriken nicht, was einen wirtschaftlichen Vorteil darstellt.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Standort für Meadow Lake wurde in erster Linie wegen seiner unmittelbaren Nähe zur Faserstoffversorgung, der Infrastruktur und wegen der Arbeitskräfte ausgewählt; dies obgleich die Wasserverfügbarkeit knapp und das Gewässer klein ist und wegen des trockenen Klimas und der in dieser Gegend harten Winter der Fluss zeitweise kein Wasser führt. Ein herkömmliches Abwassersystem hätte das Bohren von Brunnen erforderlich gemacht, die den Grundwasserleiter zur Sicherstellung von genügend Wasser zur Verdünnung der Abwassereinleitung und zur Aufrechterhaltung eines ganzjährigen Abflusses im Fließgewässer anzapfen. Diese Option war für die Firmeninhaber nicht akzeptabel und es wurde die Entscheidung gefällt, den abwasserfreien Betrieb anzustreben. Es kann konstatiert werden, dass der Verkauf von abwasserfrei hergestelltem Holzstoff an umweltbewusste Verbraucher gewisse Vorteile mit sich bringt.

Referenzanlagen: Beispiel sind Meadow Lake und Chetwynd in Kanada. Stora Fors, Schweden, hat eine Eindampfanlage für einen Teil des Gesamtabwassers in Betrieb genommen.

Literatur:
[Ward, 1993], [Evans, 1991], [Evans, 1992], [Evans, 1993], [Fromson, 1993], [Sweet, 1993]

4.3.8 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Es wird auf den Abschnitt 5.3.9 Bezug genommen. Ob die Kraft-Wärme-Kopplung als BVT oder nicht angesehen werden kann, hängt von der Energiebilanz der Fabrik ab und davon, wie aus dem Netz bezogene Elektrizität hergestellt wird. Die Schwierigkeit dürfte im Vergleich der Stromerzeugung mittels Wasserkraft, Kernkraft, Kohle, Öl, Gas oder Biobrennstoff liegen.

4.3.9 Wärmerückgewinnung von den Refinern

Es liegen bisland keine Informationen vor.

4.3.10 Verminderung der VOC-Emissionen durch Freisetzung von Dampf in die Atmosphäre

Es liegen bislang keine Informationen vor.

4.3.11 Emissionsoptimierte Verbrennung von festem Abfall mit Energierückgewinnung

Beschreibung der Technik: In Holzstofffabriken, in die meist eine Papierfabrik integriert ist, fällt eine Vielzahl von festen Abfällen an, wie Rinde, Holzabfälle, Holzstoffabfallschlamm und Sortierrejekte, die entsorgt werden müssen. Die Rinde kann leicht als Brennstoff im Hilfskessel der Fabrik eingesetzt werden, während Schlämme traditionell deponiert werden. Eine sinnvolle Alternative zur Deponierung ist die Verbrennung dieser Abfallschlämme, die eine teuere und mit Beschränkungen versehene Angelegenheit für die Fabriken darstellt. In solchen Verbrennungsanlagen ist es notwendig, umweltfreundliche Verbrennungstechniken zur weitgehenden Minimierung der Staub, SO_2- und NO_x-Emissionen einzusetzen.

Da Schlämme Abfälle darstellen, die oft einen niedrigeren Heizwert als feste Brennstoffe wie Rinde oder Holz aufweisen, wird ihre Verbrennung in einem allein dafür konzipierten Kessel selten durchgeführt.

In laufenden Fabriken, die Rinde, Holz, Torf oder Kohle als Brennstoff zur Dampf- und Energieerzeugung einsetzen, wird durch die Verbrennung der Holzstoff- und Papierschlämme zusammen mit festen Brennstoffen mit hohem Heizwert im selben Kessel eine hohe Kosteneffizienz erreicht. Dies wird durch den Umstand verstärkt, dass Schlämme, soweit sie nicht eine über 50 %ige Konsistenz und einen niedrigen Aschegehalt aufweisen, ohnehin in jedem Fall für ihre ordnungsgemäße Entsorgung durch Verbrennung Stützbrennstoff erfordern würden.
Die umweltfreundliche und für die Verbrennung von Holzstoffschlamm und Holzstoffrejekten geeignetste Technologie ist die gleiche wie für Holz, Rinde und Torf. Allerdings können bestimmte spezifische Besonderheiten bei der Schlammaufbereitung oder –verbrennung differieren.

Die Kessel werden zur Herstellung von Dampf eingesetzt, der unmittelbar als Prozessdampf zum Aufheizen und Trocknen verwendet wird, aber in einer steigenden Anzahl von Fällen auch zur Stromerzeugung. Allerdings können die Kessel in den Fällen, in denen der Kessel klein ist und sein Hauptzweck in der Schlammentsorgung mit einem Minimum an Stützbrennstoff besteht, wirtschaftlich nichts anderes als Niederdruckdampf für Heizzwecke im Prozess und zur Gebäudeheizung liefern.

Bei der Verbrennung von Holzstoff- und Papierschlämmen können die Umweltziele durch Einsatz geeigneter Kessel und, wie es manchmal erforderlich ist, durch eine Abfolge von Brennstoffvorbehandlungen erreicht werden.

Zur Verbrennung von Papier- und Rejektschlamm können sowohl rostbefeuerte Kessel als auch Wirbelschichtkessel eingesetzt werden. Die Wirbelschichttechnologie ist jedoch mit seiner höheren Flexibilität, höherer Effizienz und niedrigeren Emissionen vielseitiger.

Der Heizwert von Rinde aus der Nassentrindung oder Torf mit einem Feuchtegehalt von 40 – 60 % beträgt 4,5 - 10,5 MJ/kg. Im Gegensatz dazu haben die mechanisch entwässerten Holzstoffschlämme wegen ihres oft höheren Feuchte- und Aschegehaltes einen niedrigeren Heizwert in Höhe von 2,5 - 6,0 MJ/kg. Der Heizwert von trockenen Holzstoffabfällen kann Werte über 20 MJ/kg erreichen. Je höher die Feuchtigkeit des Brennstoffes, je niedriger ist insgesamt die Wirtschaftlichkeit des Kessels und umso schwieriger ist der Betrieb; es sei denn, es wird eine effiziente Technologie eingesetzt. Ein Wirbelschichtkessel ist in Bezug auf den Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes weniger anfällig als rostbefeuerte Kessel. Da manche Papierschlämme einen Aschegehalt von 20 - 30 %, bei Deinking-Abfall als schlechtestem Fall von 60 % aufweisen, sind Betriebsprobleme, wie das Verstopfen des Rostes wegen der Asche, bei rostbefeuerten Kesseln sehr wahrscheinlich. Hohe Aschemengen können auch zur Verschlechterung der Effizienz des Wirbelbettsystems führen, allerdings in viel geringerem Umfang. Die Verbrennung ist umso besser, je kleiner die anteilige Menge an Asche oder Schlamm ist.

Der größte Unterschied zwischen der Rostfeuerungs- und Wirbelschichttechnologie ist die Art der Wärmeübertragung. Bei der Rostfeuerung werden die Brennstoffpartikel hauptsächlich durch Strahlungswärme erhitzt. Dadurch sind die Verbrennungstemperatur und Verbrennungszeit sehr wichtig und die Leistungsfähigkeit des Systems kann bei steigendem Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes schnell abfallen. Schwankungen im Trockensubstanzgehalt des Schlammes an der Zuführungsstelle des rostbefeuerten Kessels führen wegen des Temperaturabfalls zu Problemen bei der Aufrechterhaltung einer vollständigen Verbrennung. In Wirbelschichtkesseln erfolgt die Wärmeübertragung in Form von Wärmeleitung, die mit Hilfe eines Wirbelschichtsandbettes innerhalb des Kessels die Wärmekapazität des Systems stabilisiert und macht es so weniger anfällig gegen den Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes und gegen Schwankungen des Heizwertes.
Die Verbrennung in einem Wirbelschichtkessel findet im Vergleich zu den für die Rostfeuerung erforderlichen Temperaturen bei niedrigeren Temperaturen statt, üblicherweise im Bereich von 750 - 950 °C. Dies wirkt sich günstig auf die Reduzierung der Abgasemissionen aus. Zusätzlich ist der flächenspezifische Wärmeübergang bei Wirbelbettsystemen etwas höher.

Es gibt zwei Haupttypen von Wirbelbettsystemen: Kessel mit brodelndem und Kessel mit zirkulierendem Wirbelschichtbett.

In Kesseln mit brodelndem Wirbelschichtbett wird das Sandbett innerhalb des Kessels im unteren Teil in Schwefel gehalten und nur ein kleiner Teil des Sandes entweicht dem Wirbelbett. Dieser entweichende Anteil und möglicherweise teilverbrannter Brennstoff werden in einem Zyklon zurückgewonnen und dem Wirbelbett wieder zugeführt. In Kesseln mit zirkulierendem Wirbelschichtbett dehnt sich das Sandbett bis unterhalb des ersten Wärmeaustauschers aus, nach welchem der Sand in einem großen Zyklon vom Rauchgas abgetrennt und zum untersten Teil des Wirbelbettes zurückgeführt wird.

Vom Gesichtspunkt der Wirksamkeit aus sind beide Wirbelschichtbetttechnologien als gut zu charakterisieren. Allerdings ist die Technik mit zirkulierendem Wirbelbett beim Einsatz von Brennstoff mit hohem Kohlegehalt besser hinsichtlich der Vermeidung von Überhitzungen, die durch die Kohleverbrennung innerhalb des Bettes auftreten.

Der Heizwert des Schlammes und das Ergebnis der Verbrennung insgesamt können durch den Einsatz einer verbesserten Entwässerung, wie z.B. mit einer Schraubenpresse verbessert werden. Das anzustrebende Ziel für den Trockensubstanzgehalt sollte 45 % betragen, soweit der Aschegehalt unter 30 % liegt; ansonsten sollte er höher liegen und bei einem Aschegehalt von 50 % Trockensubstanzwerte von 65 - 70 % erreichen. Sofern der Schlammanteil hoch ist und der prozentuale Anteil aller Brennstoffe 30 % übersteigt, kann die Zerkleinerung des Schlammes mit anschließender Pelletierung oder Brikettierung zur Erhöhung der Raummasse wirtschaftlich sein, da damit eine ausreichende Verbrennung erreicht wird. Der Schlamm und andere feste Brennstoffe können alternierend oder zusätzlich über einer Vorwärmungs-einrichtung dem Kessel zugeführt werden. Die indirekte Trocknung erfordert Nieder- oder Mitteldruckdampf, der innerhalb der Fabrik erzeugt wird und der am besten noch an anderer Stelle als Niederdruckdampf eingesetzt werden könnte. Direkte Trocknungsmethoden benutzen die Rauchgase als Wärmequelle.

Die Verbesserung der Verbrennung insgesamt ist einzelfallspezifisch. Sie kann bei bestimmten festen Brennstoffen durch zusätzliche wirksame Entfernung des Feuchtigkeitsgehaltes aus dem Brennstoff erreicht werden; wie mittels mechanischer Entwässerung des zu verbrennenden Materials oder durch seine Trocknung mittels Wärme. Im Allgemeinen gilt, dass bei einem anfänglichen Feuchtigkeitsgehalt des Brennstoffes im Bereich von 45 – 50 % durch die Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes auf 55 – 60 % eine 10 bis 15 %ige Verbesserung des Wärmehaushalts erzielt wird. Je höher der Feuchtigkeitsgehalt des dem Kessel zugeführten Brennstoffes ist, desto höher ist die Rauchgasmenge.

Die Emissionen von Wirbelbettkesseln können strengere Anforderungen als rostbefeuerte Kessel einhalten. Die Wirbelbettsysteme ermöglichen eine prozessintegrierte Reduktion der SO_2- und NO_x-Emissionen und sind im Vergleich zu Rostfeuerungen einfacher und wirksamer.

Die Kesselasche enthält bereits etwas Calcium, das im Brennstoff vorhandenen Schwefel binden kann, was zu einer SO_2-Reduktion führt. Zusätzlich können die Schwefelemissionen durch Eindüsen von Kalkmilch in den Kessel reduziert werden; dazu wird ein Calcium/Schwefel-Verhältnis im Bereich von 1 – 3 eingestellt. Ein

hoher Calciumüberschuss ermöglicht eine 80 - 95 %ige Schwefelentfernung, die im Falle der zirkulierenden Wirbelschicht höher ist. Die optimale Schwefelentfernung findet bei Verbrennungstemperaturen um 850 °C statt. Der Nachteil der Kalkmilcheindüsung besteht in den erhöhten Aschemengen.
Bei rostbefeuerten Kesseln besteht kein wirksamer interner Ansatz zur Reduzierung der SO_2-Emissionen.

Es können nachgeschaltete Schwefel- und SO_2-Abscheidetechniken eingesetzt werden. Es stehen entweder nasse oder halbnasse Verfahren, bei denen durch den Einsatz von alkalischen Waschlösungen Schwefel gebunden wird, oder trockene Verfahren zur Verfügung. Trockene Verfahren sind im Vergleich zur verbesserten Überwachung der Verbrennungsbedingungen im Wirbelbett, zur Kalkmilcheindüsung in den Kessel oder zu nachgeschalteten Nassverfahren weniger wirksam.

Die niedrigeren NO_x-Emissionen bei Wirbelschichtkesseln sind in erster Linie auf die niedrigeren Verbrennungsbedingungen zurückzuführen. Der Einsatz von Brennern mit niedrigen NO_x-Emissionen kann die NO_x-Bildung weiter verringern.

Es kann ein gewisser Kompromiss bei der Reduktion der SO_2- und NO_x-Reduktion erforderlich sein. Dies ist z.B. dem Umstand zuzuschreiben, dass die NO_x-Emissionen dazu neigen, mit höherem Calciumüberschuss im Kessel nach der Kalkmilcheindüsung anzusteigen. Zusätzlich befindet sich das Temperaturminimum für die NO_x-Bildung bei der Verbrennung bei 960 °C, während die optimale SO_2-Entfernung mittels Kalkmilcheindüsung bei niedrigeren Temperaturen erreicht wird.

Die Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoff-Emissionen können durch die Vermeidung einer Kesselüberlastung und durch Aufrechterhaltung eines Sauerstoffüberschusses auf einem vernachlässigbaren Niveau gehalten werden.

Die Staubemissionen aus dem Kessel werden durch einen Elektrofilter wirksam reduziert, der bei guter Auslegung eine nahezu quantitative Abscheidung ermöglicht.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Einführung oder Verbesserung von Wirbelschichtkesseln zur Verbrennung von Holzrückständen oder festen Rückständen kann sowohl für bestehende als auch für neue Fabriken eingesetzt werden. Die Überwachbarkeit des Verbrennungsprozesses und die Möglichkeit des Einsatzes von festem Brennstoff mit schwankender Zusammensetzung sind besser als bei rostbefeuerten Kesseln.

In Verbindung mit der Einführung einer verbesserten Wärmerückgewinnung und einer nachgeschalteten Rauchgasreinigung kann die wirtschaftliche und umweltseitige Leistungsfähigkeit von rostbefeuerten Kesseln verbessert werden; allerdings nicht auf das Niveau von Wirbelbettsystemen.

Sofern der Hauptanteil des dem Kessel zugeführten Brennstoffs aus Schlamm besteht, ist der Nettoenergiegewinn klein. In Fabriken, in denen auch andere Brennstoffe zur Dampf- und Stromerzeugung eingesetzt werden, kann eine bessere Verfahrenseffizienz durch Mitverbrennung des Schlammes, dessen Anteil dann von untergeordneter Bedeutung ist, erreicht werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Mit modernen Wirbelschichtkesseln**,** in denen unter Einsatz von Stützbrennstoff Holzstoff- und Rejektschlämme verbrannt werden, können die Abgasemissionen wirksam reduziert und optimiert werden. Der unmittelbare Vergleich der Leistung einzelner Kessel ist wegen der Vielzahl der eingesetzten Brennstoffe oder ihrer Kombinationen, der zusätzlichen Überwachungseinrichtungen und der voneinander abweichenden Art der Festlegung nationaler Grenzwerte schwierig.

Angaben zu erreichbaren Emissionswerten liegen bislang nicht vor.

Emissionsmessung: Emissionsmessungen mit on-line-Messgeräten werden wegen ihrer verbesserten Zuverlässigkeit und niedrigeren Kosten zunehmend beliebter und gebräuchlicher. Die Temperatur- und Sauerstoffüberwachung an mehreren Stellen im Kessel sind auch von Vorteil.

Verlagerungseffekte: Die Reduktion des Abfallanfalles kann die Abgasemissionen in die Atmosphäre erhöhen.

Betriebserfahrungen: Wirbelschichtkessel sind seit 10 – 15 Jahren mit Erfolg im Einsatz und es hat sich als erwiesen gezeigt, dass die gegenwärtigen Konzeptionen im Vergleich zu den rostbefeuerten Kesseln viele Vorteile aufweisen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Umrüstung eines bestehenden Rindenkessels auf die Verbrennung von Schlämmen und Rejekten erfordert bei einer integrierten Fabrik mit einer Produktion von 700 t/d Kosten in Höhe von 0,5 – 0,7 Mio. EUR, vorausgesetzt der Kessel besitzt bereits freie Kapazität zur Verbrennung dieser Abfälle. Die zusätzlichen Betriebskosten für die Rückstandsverbrennung betragen 250000 - 350000 EUR/a.
Ein separater Kessel der gleichen Größe zur Verbrennung von Schlamm und Rejekten kostet 5 - 7 Mio. EUR mit Betriebskosten von 500000 - 600000 EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der wichtigste Grund besteht in der Reduktion der Menge an zu deponierendem organischem Material.

Referenzanlagen: Zahlreiche Fabriken in Nord- und Westeuropa.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [Paper and Timber, 1993]

4.3.12 Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern zur Speicherung von konzentrierten oder heißen Prozessteilströmen

Beschreibung der Technik: Der Einsatz von großen Pufferbehältern für heiße Prozessteilströme aus der Herstellung von Holzschliff und Holzstoff ist in den meisten Fällen nicht relevant, da diese Stoffe fast ausschließlich in integrierten Fabriken produziert werden. Üblicherweise steht viel Prozesswasser, das für diese Aufschlussprozesse eingesetzt wird, als überschüssiges Kreislaufwasser aus der Papier- oder Kartonmaschine zur Verfügung. Im Vergleich zur Papierherstellung ist der Wasserverbrauch zur Holzschliff- und Holzstoffherstellung niedrig, weshalb üblicherweise von dort kontinuierlich überschüssiges verunreinigtes Wasser in die Kanalisation abgeleitet wird.

Bei der CTMP-Herstellung besteht eine leicht unterschiedliche Situation, da die meisten Fabriken nichtintegriert sind und Marktholzstoff herstellen. Wie bei anderen mechanischen Aufschlussverfahren fallen verschiedene Recyclingwasserqualitäten an, die innerhalb des Aufschlussprozesses wiederverwendet werden. In integrierten Fabriken wird überschüssiges Recyclingwasser von der Papier- oder Kartonmaschine zur Ergänzung des Wassersystems der CTMP-Anlage zugeführt; in nichtintegrierten Fabriken wird dafür Frischwasser eingesetzt. Soweit gebleicht wird, erhöht die Wasserrückführung, z.B. durch Einsatz der Bleichfiltrate zur Hackschnitzelimprägnierung, die Wiederverwendung von Wasser. Überschüssiges verunreinigtes Wasser wird abgeleitet; dies trifft z.B. für das Wasser aus der Hackschnitzelwäsche, für überschüssiges Kreislaufwasser und manchmal auch für Wasser aus der Zwischenwäsche bei der Holzstoffmahlung zu.

Beim Aufschlussverfahren zur Herstellung von CTMP gibt es im Gegensatz zum Aufschluss-verfahren zur Herstellung von Zellstoff weniger Möglichkeiten, Stellen für kostenwirksame Maßnahmen zur Rückgewinnung von überlaufendem oder Leckagewasser oder Gründe für sehr große Wasserspeichertanks zu finden. Trotz der Einführung des Gegenstromwaschprinzips mit dem Ziel eines niedrigen Frischwasserverbrauchs ist die Wasserbilanz nicht ausgeglichen, weshalb die Ableitung von Wasser in den Kanal noch erforderlich ist. Nichtsdestotrotz müssen die Prozesstanks ein ausreichendes Volumen aufweisen, um auch bei Mengenspitzen, besonders im Zuge der Holzstoffverdünnung und -wäsche Wasser zur Verfügung stellen zu können. Diese Spitzen treten hauptsächlich in der Anfahrphase einer Holzstofflinie, während kurzzeitiger Schwankungen in der Wasserbilanz zwischen der Holzstoff- und Papierproduktion oder z.B. auch dann auf, wenn die Anlage zur Herstellung von ungebleichtem Holzstoff außer Betrieb, aber die Bleichanlage weiter in Betrieb ist.

Die Abwässer aus der Herstellung von CTMP sind wegen der chemischen Behandlung der Hackschnitzel stärker verunreinigt als die Abwässer aus der Herstellung von Holzschliff und Holzstoff, weshalb zur Minimierung der der externen Abwasserbehandlungsanlage zugeführten Frachtspitzen ein sorgfältigeres Management der Tankfüllstände erforderlich ist. Die Umwandlung von elektrischer Energie in Dampfenergie beim Raffinieren im Rahmen des TMP- und CTMP-Verfahrens vermindert die fortschreitende Erwärmung des Wassers im Aufschlusssystem. In Fabriken, in denen Dampf in effizienter Weise zur Wassererhitzung oder zur Holzstoff- oder Papiertrocknung eingesetzt wird, könnte die Notwendigkeit für das gelegentliche Ablassen von Dampf vermindert werden. Andere Fabriken vermindern die Notwendigkeit zur Dampfkühlung mit Wasser und zur Ableitung dieses heißen Teilstromes durch Bereitstellung eines größeren Wasserspeichervolumens in der Produktion.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Untersuchung und Optimierung des notwendigen Tankvolumens kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken durchgeführt werden. Bei bestehenden Fabriken tragen die Betriebsdaten für verschiedene Produktionszustände zur Bestimmung geeigneter Tankmanagementverfahren und zur Entscheidung über die Notwendigkeit größerer Tankvolumina bei.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Umweltauswirkungen sind üblicherweise gering, aber der wirtschaftliche Betrieb der externen Behandlungsanlage wird mit der zurückgehenden Häufigkeit der Ableitung von Leckagewasser verbessert.

Emissionsüberwachung: Es sind Füllstandsmessungen für die wichtigen Wasserbehälter, vor allem zur Reduktion von Überläufen erforderlich.

Verlagerungseffekte: Es treten keine wesentlichen Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Durch die verbesserte Kreislaufschließung in den Fabriken ist die Kontrolle der in die Kanalisation abgeleiteten verunreinigten und warmen oder heißen Ströme ausgeprägter geworden. Allerdings besteht die betriebsinterne Optimierung beim Umgang mit diesen Strömen oft in einer Verfeinerung oder Änderung der Betriebsweisen und weniger in der Verbesserung der Speichereinrichtungen für diese Ströme.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten sind sehr fallspezifisch. Werden die zusätzlich benötigten Volumina zur Speicherung von Wasser und Halbstoff auf 2000 m^3 geschätzt, betragen die Investitionskosten dafür 0,5 – 0,6 Mio. EUR und für zusätzliche Tanks, Verrohrung, Elektroinstallation und Meß- und Regeltechnik weitere 100000 - 250000 EUR. Die Betriebskosten sind niedrig und fallen hauptsächlich durch Wartungsmaßnahmen an.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Diesen Maßnahmen wird durch die verbesserte Kontrolle der Schwankungen im Aufschlussprozess und zu einem gewissen Grad durch ihre positive Umweltauswirkung Vorschub geleistet.

Referenzanlagen: Diese Technik wird weltweit von zahlreichen modernen Fabriken eingesetzt.

Literatur
[CEPI, 1997b]

4.3.13 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren

Beschreibung der Technik: Die Grundzüge der Abwasserbehandlung sind die gleichen wie sie in den Abschnitten 2.3.13, 5.3.6 und 6.3.10 beschrieben sind. Das dominierende Verfahren zur Behandlung des Abwassers aus Holzstofffabriken ist das Belebtschlammverfahren. Vorzugsweise kommen zweistufige Verfahren zum Einsatz. Einige Fabriken setzen in der ersten Stufe Reinsauerstoff ein, gefolgt von einer “normalen” belüfteten zweiten Stufe. Einige Fabriken setzen hochbelastete erste Stufen, gefolgt von niedrig belasteten zweiten Belüftungsbecken ein. Eine Fabrik hat von einer Biofiltration nach einer zweistufigen Belebtschlammanlage berichtet.

Grundsätzlich kann das Abwasser aus Holzstofffabriken auch wirksam anaerob behandelt werden, da die CSB-Konzentrationen im Abwasser oft über 2000 mg O_2/l liegen. Allerdings werden in den meisten Fällen die Abwässer aus der Holzstoff- und Papierfabrik mittels aerober Verfahren behandelt, mit Ausnahme der Abwässer aus CTMP-Anlagen oder anderen konzentrierten Abwasserströmen, für die manchmal anaerobe Behandlungsverfahren zum Einsatz kommen (siehe 4.3.7).

Für das Belebtschlammverfahren gibt es eine große Anzahl von unterschiedlichen Verfahrens- und Anlagenkonzeptionen. Diese Alternativen können sich hinsichtlich der Konzeption des Belüftungsbeckens, der Absetzbecken, der Belüftungseinrichtungen sowie der Schlammrück-führung unterscheiden. Eine spezielle Verfahrenskonzeption ist beim Reinsauerstoff-Belebungsverfahren gegeben, bei dem Reinsauerstoff oder sauerstoffangereicherte Luft anstelle von normaler Umgebungsluft eingesetzt wird.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die aeroben Verfahren können sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Holzstoff- (und Papier-)Fabriken eingesetzt werden. Bei bestehenden Fabriken sollten vorzugsweise einige Wassersparmaßnahmen zur Reduzierung der Investitionskosten durchgeführt werden.

Das Belebtschlammverfahren wird oft eingesetzt, wenn hohe oder sehr hohe Reinigungsleistungen erforderlich sind. In letzterem Fall bietet sich jedoch ein zweistufiger biologischer Prozess als Verfahren der Wahl an.

Belebschlammanlagen sind in der Holzstoff- und Papierindustrie weit verbreitet im Einsatz. In diesem Industriesektor beträgt nach einer groben Schätzung der Anteil des Belebtschlammverfahrens 60 – 75 % aller Anlagen zur biologischen Abwasserbehandlung. Auch bei jüngst errichteten Anlagen ist dieses Verfahren am gebräuchlichsten.

Die *Vorteile* des Belebtschlammverfahrens bestehen in der Möglichkeit einer hohen oder sehr hohen Reinigungsleistung, den Möglichkeiten zur Prozesskontrolle (besonders des Sauerstoffverbrauchs) und im relativ kleinen Platzbedarf.

Die Nachteile bestehen im hohen Anfall an Bioschlamm und den hohen Betriebskosten. Ein Misch- und Ausgleichsbecken vor der biologischen Behandlung kann das Risiko des Auftretens von Betriebsstörungen und instabiler Betriebsverhältnisse reduzieren.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Reinigungsleistungen sind unterschiedlich und hängen von der Art des Abwassers, von der Anlagenkonzeption und den Betriebsbedingungen ab. Typische Werte liegen für die BSB-Entfernung im Bereich von 90 - 98% (normalerweise 95 + x%) und für die CSB-Entfernung im Bereich von 75 - 90 %.

Die Reinigungsleistung für die Abscheidung von abfiltrierbaren Stoffen liegt nach der Primär- und Sekundärbehandlung bei insgesamt 85 - 90 %.

Verlagerungseffekte: In der Abwasserbehandlungsanlage fällt Schlamm an, der nach Entwässerung verbrannt werden kann. In einigen Fällen ist dabei die Energiebilanz positiv. Das behandelte Abwasser ist für eine Wiederverwendung an einigen Stellen im Produktionsprozess sauber genug. Das Problem besteht üblicherweise darin, dass die Abwasserbehandlungsanlage so weit von der Fabrik entfernt ist, dass ein Wasserrecycling nicht wirtschaftlich ist.

Betriebserfahrungen: Belebtschlammanlagen sind seit vielen Jahren bei allen Arten von Holzstoff- (und Papier-)Fabriken mit guten Ergebnissen im Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine neue integrierte Fabrik zur Herstellung von Holzstoff mit einer Produktion von 700 t/d betragen die Investitionskosten für eine vollständig neue Belebtschlammanlage ungefähr 10 - 12 Mio. EUR. Diese Kosten beinhalten auch die notwendige Primärbehandlung und die Schlammbehandlung. Die entsprechenden Betriebskosten belaufen sich auf 0,9 – 1,2 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Das Belebtschlammverfahren wird vorzugsweise in den Fällen eingesetzt, in denen hohe oder sehr hohe Reinigungsleistungen erforderlich sind.

Referenzanlagen: Das Belebtschlammverfahren ist weltweit in zahlreichen Anlagen für alle Arten von Abwässern im Einsatz.

Literatur:
[CEPI, 1997b], [Finnish BAT report, 1997], [SEPA-report 4713-2, 1997]

4.3.14 Dritte Stufe zur Abwasserbehandlung

Auf Abschnitt 6.3.11. wird verwiesen.

4.4 Beste verfügbare Techniken

4.4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seiner Inhalte wird der Leser auf das Vorwort verwiesen, das für alle BREFs einheitlich ist, insbesondere auf den fünften Abschnitt dieses Vorworts "Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken mit den damit unmittelbar verbundenen Emissions- und Verbrauchswerten (oder -bereichen) sind das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, das folgende Stufen beinhaltet:

- Identifizierung der wesentlichen Umweltaspekte/-probleme; für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und CTMP-Holzstoff haben die größte Bedeutung der Wassereinsatz, die Abwassereinleitung (CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, N, P), der Energieverbrauch (Dampf und Strom), feste Abfälle wie Rejekte, Schlamm und Asche, Abgasemissionen aus der Energieerzeugung (SO_2, NO_x, CO_2, Staub), Lärm, Abwärme im Abwasser und manchmal Gerüche; die drei zuletzt genannten Punkte stehen für lokale Auswirkungen;
- Bewertung der Techniken, die zur Lösung dieser Probleme am geeignetsten sind;
- Identifizierung der besten Umweltleistungen auf Basis der in Europa und weltweit verfügbaren Daten;
- Ermittlung der Bedingungen, unter denen diese Umweltleistungen erreicht werden können. Diese beinhalten u.a. Kostenaspekte, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien und die wichtigsten Gründe für die Einführung dieser Techniken;
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) mit den damit verbundenen erreichbaren Emissions- und/oder Verbrauchswerten, die für diesen Sektor grundsätzlich gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der IVU-Richtlinie gelten.

Bei jedem dieser Schritte sowie bei der Darstellung der Informationen hat die Beurteilung durch Experten die entscheidende Rolle gespielt.

Vor diesem Hintergrund werden die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken und so weit als möglich die damit erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte als für die gesamte Branche geeignet angesehen. In vielen Fällen geben sie die derzeitige Leistungsfähigkeit und Betriebsweise von Anlagen dieser Branche wieder. Die angegebenen Emissions- und Verbrauchswerte „in Verbindung mit den besten verfügbaren Techniken“ sind so zu verstehen, dass sie für die Branche als solche geeignet sind und Umweltleistungen widerspiegeln, die das Ergebnis der Anwendung der Techniken in diesem Sektor sind. Dabei sind die Kostenaspekte und Umweltvorteile entsprechend der "BVT"-Definition abzuwägen. Die erreichbaren Werte sind jedoch keine Grenzwerte, weder für Emissionen noch für den Verbrauch, und sollten nicht als solche verstanden werden. Es mag Fälle geben, in denen technisch bessere Emissions- und Verbrauchswerte erreicht werden können, die aber wegen der damit verbundenen Kosten oder durch Betrachtung von Verlagerungseffekten in andere Umweltmedien nicht als allgemein gültig für den Sektor angesehen werden. Solche Werte können jedoch in Fällen, bei denen besondere Gründe vorliegen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die Emissions- und Verbrauchswerte müssen im Zusammenhang mit den BVT in Beziehung mit bestimmten Bezugsbedingungen (z.B. Mittelungszeiträume) gesetzt werden.

Das vorstehend beschriebene Konzept “Niveaus im Zusammenhang mit BVT” ist von dem sonst in diesem Dokument verwendeten Begriff “erreichbares Niveau” zu unterscheiden. In Fällen, in denen Werte in Verbindung mit einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken als "erreichbar" bezeichnet werden, sind sie als Werte zu verstehen, deren Erreichen über längere Zeit in einer sorgfältig ausgelegten und gewarteten sowie in einer gut betriebenen Anlage oder Prozess erwartet werden kann.
Soweit verfügbar sind die Angaben zu den Kosten zusammen mit den in Kapitel 4 beschriebenen Techniken angegeben. Sie geben eine ungefähre Vorstellung zur Größenordnung der betreffenden Kosten. Allerdings hängen die tatsächlichen Kosten einer Technik stark von den speziellen Verhältnissen eines Falles ab, z.B. von Gebühren, Steuern und den technischen Gegebenheiten einer Anlage. Es ist im Rahmen dieses Dokuments nicht möglich, alle diese standortspezifischen Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Sofern Angaben zu den Kosten nicht verfügbar sind, werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit von Techniken auf der Grundlage von Erfahrungen aus bestehenden Anlagen gezogen.

Die in diesem Kapitel grundsätzlich als "BVT" angesehenen Techniken sind der Maßstab, mit dem die Umweltleistung einer laufenden bestehenden Anlage bzw. ein Antrag für eine neue Anlage beurteilt werden soll. Auf diese Weise dienen sie der Festlegung von geeigneten Bedingungen auf der Grundlage der BVT und der Einführung allgemein bindender Vorschriften nach Artikel 9 Absatz 8. Es wird angestrebt, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie die hier dargelegten generellen BVT erreichen oder sogar bessere Umweltleistungen aufweisen. Es wird auch angestrebt, dass bestehende Anlagen sich entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken im jeweiligen Fall mit der Zeit an die generellen BVT annähern können oder über diese hinausgehen.

Gleichwohl die BREFs selbst keine rechtlich verbindlichen Standards festlegen, bieten sie Informationen als Wegweisung für Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit hinsichtlich erreichbarer Emissions- und Verbrauchswerte für bestimmte Techniken. Bei der Festlegung von geeigneten Emissionsgrenzwerten im Einzelfall wird es notwendig sein, die Zielsetzungen der IVU-Richtlinie sowie die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die Herstellung von holzhaltigem Papier erfolgt nicht in einem einzelnen Prozess, sondern in einer Abfolge von Grundoperationen, die oft miteinander verbunden sind und voneinander abhängen. Deshalb handelt es sich bei den BVT für Holzstoff- und Papierfabriken immer um eine geeignete Kombination von Techniken. Die Prioritätensetzung und die Auswahl von Techniken oder einer Kombination von Techniken hängen von örtlichen Gegebenheiten ab.

Die nachfolgend aufgeführten Techniken sind, soweit nichts anderes vermerkt ist, bei neuen und bestehenden Anlagen anwendbar. Bei Papierfabriken spielt der Umstand weniger eine Rolle, ob es sich um eine neue oder bestehende Fabrik handelt. Holzstoff- und Papierfabriken sind mehr durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Maschinentechnik umgebaut und weniger als Ganzes ersetzt wird. Die modulare Umrüstung und Entwicklung der Anlagen bedeutet, dass jeder Standort ein einzigartiges Ergebnis der örtlichen Verhältnisse und der Geschichte darstellt. Auf der anderen Seite liegt eine Verknüpfung von Grundoperationen vor, die allen Ländern gemein ist.

Die Kriterien, die bei der Festlegung der BVT im Einzelfall zu betrachten sind, betreffen die spezifischen Kosten, die für kleine Fabriken relativ höher sind (Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von der Anlagen-/Betriebsgröße). Andere in Betracht zu ziehende Faktoren sind die begrenzte Verfügbarkeit von Platz, was für einige ältere Fabriken zutreffen könnte, oder ungeeignete Werkstoffe oder Konzeption von älteren Einrichtungen, die ein höheres Maß an Kreislaufschließung nicht erlauben. Eine höhere Wasserkreislaufschließung geht gewöhnlich mit einem komplexeren System einher, dass überwacht, kontrolliert und verstanden werden muss. In kleineren Fabriken kann manchmal nicht das notwendige Wissen zum effizientesten Betrieb und Überwachung komplexerer Verfahrenslösungen verfügbar sein

4.4.2 BVT für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und CTMP-Holzstoff

Für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und CTMP-Holzstoff werden die nachfolgenden Techniken oder Technikkombinationen als BVT angesehen. Die folgende Liste an BVT ist nicht als erschöpfend zu verstehen und jede andere Technik oder Technikkombination, mit der die gleiche (oder bessere) Umweltleistung erreichbar ist, kann ebenso in Betracht gezogen werden; solche Techniken können sich in der Entwicklung befinden oder an der Schwelle der Praxisreife stehen oder bereits verfügbar sein, ohne in diesem Dokument erwähnt zu werden bzw. beschrieben zu sein. Für integrierte Holzstoff- und Papierfabriken wird auf Abschnitt 6.4 verwiesen, wo zu BVT für die Papierherstellung weitere Details zu finden sind. Soweit nichts anderes genannt ist, handelt es es sich bei den angegebenen Werten um Jahresmittelwerte.

Allgemeine Maßnahmen

1. Training, Ausbildung und Motivation der Belegschaft und der Maschinenführer. Das Training der Belegschaft kann ein sehr kostengünstiger Weg zur Reduzierung der Umwelteinwirkungen der Fabriken sein.
2. Optimierung der Prozesskontrolle. Zur gleichzeitigen Reduzierung verschiedener Schadstoffe und zur Gewährleistung niedriger Emissionen ist eine verbesserte Prozesskontrolle erforderlich. Die Zielsetzung der Kontrolle besteht darin, den Prozess auf dem gewünschten Betriebszustand zu halten.
3. Zur Aufrechterhaltung der Effizienz der technischen Anlagen in Holzstoffanlagen und den damit verbundenen Anlagen zur Emissionsminderung auf hohem Niveau muss ihre ausreichende Wartung gewährleistet sein.
4. Ein Umweltmanagementsystem, dass klar die Verantwortlichkeiten für die umwelt-relevanten Aspekte einer Fabrik definiert. Es erhöht das Bewusstsein und beinhaltet Ziele und Maßnahmen, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Checklisten und andere relevante Dokumentationen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasseremissionen

1. Trockenentrindung des Holzes. Trockene Techniken benötigen weniger Wasserkreislauf-führung während der Trommelstufe. Die Wassersysteme von Entrindungsanlagen werden sehr geschlossen gehalten. Feststoffe werden aus dem Kreislaufwasser, das ausschließlich zur Wäsche der Holzprügel verwendet wird, entfernt und unerwünschte Stoffe abgetrennt. Ein Teil des geklärten Wassers wird abgetrennt und der Abwasserbehandlung zugeführt.
2. Wasserkreislaufsystem in der Holzstoffabteilung. Um die Anreicherung der gelösten und dispersen Stoffe auf einem akzeptablen Niveau zu halten, werden die Wasserkreisläufe bis zu einem bestimmten Ausmaß geöffnet.
3. Wirksame Trennung der Wassersysteme der Holzstoff- und Papierfabrik durch Einsatz von Eindickern. Eine Entwässerungsstufe nach dem Aufschluss führt zu einem beträchtlichen Rückgang der Verunreinigungen im Wassersystem der Papiermaschine. Das Filtrat der Eindickung wird zum Aufschlussprozess zurückgeführt. Diese Maßnahme verhindert, dass aus dem Holz herausgelöste Verunreinigungen durch den gesamten Papierherstellungs-prozess geschleust werden. Die Isolierung von Prozesseinheiten macht die Abrennung der Verunreinigungen innerhalb des Prozesses möglich, innerhalb dessen sie anfallen.
4. Gegenstromkreislaufwassersystem von der Papierfabrik zur Holzstoffnlage in Abhängigkeit vom Grad der Integration.
   Die Rückführung von Prozesswasser von der Papiermaschine zur Holzstoffanlage könnte nicht möglich sein, wenn die Fabrik zwei oder mehr Papiermaschinen hat, mit denen unterschiedliche Papiersorten produziert werden, die Kreislaufwässer miteinander unverträglich sind oder wenn gefärbtes Papier hergestellt wird.
5. Bereitstellung von ausreichend großen Pufferbehältern und Speicherung von Teilströmen aus dem Prozess (hauptsächlich für die CTMP-Anlage)
6. Primäre Behandlung, sekundäre biologische und/oder in einigen Fällen eine zusätzliche chemische Fällung oder Flockung des Abwassers.
   Wenn ausschließlich eine chemische Fällung eingesetzt wird, sind die CSB-Frachten etwas höher, bestehen aber hauptsächlich aus leicht abbaubaren Stoffen. Unbehandelte Abwässer aus der Holzstoffherstellung und aus der Bleicherei sind für Wasserorganismen toxisch. Im Laufe einer sorgfältig betriebenen biologischen Behandlung wird die Toxizität dieser Abwässer weitgehend vermindert. Deshalb wird zusätzlich zu den prozessintegrierten Maßnahmen die primäre und biologische Abwasserbehandlung für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff, CTMP und Papier als BVT betrachtet. Belebtschlammanlagen, die aus einem Ausgleichsbecken, einem Belüftungsbecken, einem Nachklärbecken und einer Schlammbehandlung bestehen, weisen hervorragende Reinigungsleistungen bei der Behandlung dieser Abwässer auf. Niedrig belastete Belebtschlammanlagen mit einer Schlammbelastung unter 0,15 kg BSB/(kg TS x d) und einer üblichen Aufenthaltszeit im Belebungsbecken von ungefähr einem Tag werden als BVT angesehen. Sie können hohe Reinigungsleistungen (CSB: 75 – 90 %; BSB: 95 + x %) bei stabilem Betrieb erreichen. Einige Fabriken erreichen ebenfalls gute Reinigungsleistungen (>85 % CSB-Reduktion) mittels einer hoch belasteten biologischen Behandlung.

Für CTMP-Fabriken werden drei weitere Maßnahmen als BVT angesehen:

1. Effizientes Waschen zwischen der Holzstoffanlage und der Papierfabrik. Diese Maßnahme reduziert die Verschleppung von gelösten und dispersen Stoffen vom Aufschluss und Bleichen. Wenn es für die Holzstoff- und Papierqualität nicht schädlich ist und andere Papiermaschinen den gleichen Holzstoff einsetzen, kann das Kreislaufwasser der Papierfabrik als Waschwasser eingesetzt werden. Das Waschfiltrat wird zum Kreislauf-wasser der Holzstoffanlage zurückgeführt.
2. Abwasserbehandlung entweder mit biologischen Behandlungssystemen in einer oder zwei Stufen mit oder ohne chemische Behandlung oder interne chemische Behandlung des Kreislaufwassers der ersten Waschstufe sowie Behandlung der restlichen Abwässer in einem Belebtschlammsystem. Eine Kombination einer anaeroben und aeroben Abwasser-behandlung wird ebenfalls als wirksames Behandlungssystem angesehen. Schließlich könnte die Eindampfung der am höchsten belasteten Abwässer und Verbrennung der Konzentrate sowie die biologische Behandlung der restlichen Abwässer eine Lösung zur Nachrüstung von Fabriken darstellen.
3. Für neue Fabriken und solche, die ihre Kapazität beträchtlich erhöhen, wird die Eindampfung von ausgewählten hoch belasteten Abwasserteilströmen zur Unterstützung der biologischen Behandlung oder der gesamten Abwässer und Verbrennung der Konzentrate als BVT angesehen.

Für integrierte Holzstoffanlagen und Papierfabriken (was bei den meisten Fabriken der Fall ist) sind zusätzlich zu den Maßnahmen betreffend dem mechanischen Aufschluss die im entsprechenden Kapitel zur Papierherstellung (Kapitel 6) beschriebenen Maßnahmen in Betracht zu ziehen. Allerdings beinhalten die nachfolgend wiedergegebenen, mit den BVT erreichbaren Emissions-niveaus sowohl die Herstellung von Holzstoff als auch von Papier.

Die Effizienz jeder dieser Techniken variiert durch Auslegung und Betriebspraxis in den verschiedenen Fabriken beträchtlich. Um eine Technik als BVT-Maßnahme ansehen zu können, muss sie wohlüberlegt konzipiert sein und betrieben werden. Ein möglicher Bereich der Abwasseremissionen aus Holzstoffanlagen und Papierfabriken vor der biologischen Behandlung wird in Tabelle 4.15. präsentiert. Die Fabriken stehen für einige reale globale Beispiele, die mit verschiedenen Verfahrensbedingungen und mit der Gestaltung des Wassersystems betrieben werden. Die Emissionsbereiche könnten einen Hinweis auf die Einleitung von Abwasser in Gewässer geben, wenn keine biologische Behandlung angewendet werden würde. In der Realität haben alle diese Fabriken eine primäre und sekundäre Abwasserbehandlung. Die Liste der Betriebe stellt eine Auswahl von Fabriken dar, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und wird deshalb nicht als vollständig erachtet. Sie enthält Fabriken aus verschiedenen europäischen Ländern. Die Daten stammen von Informationen, die TWG-Mitglieder geliefert haben, von persönlichen Mitteilungen und von [Zippel, 1999]. Die Analysenmethoden entsprechen denjenigen im betreffenden Land eingesetzten. Die Reinigungsleistung der biologischen Behandlung der Abwässer aus Holzstoffanlagen wird nachfolgend dargestellt.

Man muss sich bewusst sein, dass einige Fabriken eine Mischung von Fasern, wie einen bestimmten Anteil an Altpapier, verschiedenen Arten von Holzstoff und auch manchmal kleine Anteile an zugekauftem Zellstoff einsetzen. Dies kann zu beträchtlichen Schwankungen der Schmutzfrachtenvorbehandlung führen.

Fabriken	CSB [kg/t]	Ges-N [kg/t]	Ges-P [kg/t]	Menge [m3/t]	Produktion 1997 [t/a]	Anmerkungen
Steyrermühl, AT, Zeitungsdruckpapier	18 [1] - 35	n/v	n/v	17-20	450000	Reduktiv gebleichter SGW, 1- oder 2-stufig gebleichter TMP + 50% DIP
Fabrik 2, D	19	n/v	n/v	16	n/a	TMP, es liegen keine weiteren Informationen vor
Fabrik 3, D, LWC	17	n/v	n/v	13	n/a	TMP, es liegen keine weiteren Informationen vor
Fabrik 4, D, LWC	12	n/v	n/v	15	n/a	GW, es liegen keine weiteren Informationen vor
Fabrik 5, D	18	n/v	n/v	14	n/a	GW, es liegen keine weiteren Informationen vor
Fabrik 6, D	7	n/v	n/v	10	n/a	GW, es liegen keine weiteren Informationen vor
Fabrik 7, D	9	n/v	n/v	16	n/a	GW, es liegen keine weiteren Informationen vor
Norske Skog Saugbrugs NO, SC Papier [2) 3)]	63	n/v	0,.04	n/v	530000	55% MP (Peroxid-gebleicht), 12 % CP, 33% Füllstoff
Norske Skog Follum, NO, Zeitungspapier und MFC [2) 3)]	90	n/v	0,04	n/v	350000	> 95% MP (SGW und TMP, von denen 70% Peroxid-gebleicht sind), < 5% CP

Legende/Fußnote:
n/v = Daten nicht verfügbar;
CP = purchased chemical pulp = eingekaufter Zellstoff; DIP = Deinked pulp = deinkter Faserstoff; GW = Groundwood = Holzschliff; LWC = Light weight coated paper = LWC Papier; MFC = Machine Finished Coated = maschinenglatt und gestrichen; MP = Mechanical pulp produced on site = vor Ort hergestellter Holzstoff, SC = supercalendered = superkalandriert; SGW = Stone groundwood (pulp) = Holzschliff, TMP = Thermomechanical pulp = thermomechanischer Holzstoff
1) Die untere Grenze des Bereichs bezieht sich auf das Bleichen mit Dithionit, das normalerweise im pH-Wert-Bereich von 5 -6 durchgeführt wird. Dabei wird die Menge an gelösten organischen Stoffen nicht wesentlich erhöht. Die obere Grenze des Bereichs trifft für das Bleichen mit Wasserstoffperoxid im Alkalischen zu.
2) Hohe Alkalimengen bedingen ein starkes Herauslösen von Holzinhaltsstoffen. Deshalb führt das alkalische Bleichen mit Wasserstoffperoxid zu zusätzlichen BSB-Frachten von 5 - 15 kg O_2/t und CSB-Frachten von 15 - 40 kg O_2/t, die in der gleichen Größenordnung wie die Frachten von der Holzstoffherstellung selbst liegen. Die Ableitung von Phosphor erhöht sich um 20 - 35 g/t und die Ableitung von Stickstoff kann sich auf 400 - 500 g/t erhöhen [Papermaking Science and Technology, 1999].
3) Die für die beiden norwegischen Fabriken unterbreiteten Angaben betreffen Emissionsniveaus vor jeglicher Behandlung (vor der primären Abwasserbehandlung) und sind deshalb mit den anderen Angaben nicht vergleichbar.

Tabelle 4.15: Beispiele für Jahresmittelwerte für das Abwasseremissionsniveau nach der primären Behandlung einiger europäischer Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und Papier (Bezugsjahr: 1997)

Der Großteil der Verschmutzung fällt beim mechanischen Aufschluss an. Verschiedene Aufschlussverfahren verursachen ein stark unterschiedliches Herauslösen von Holzinhalts-stoffen in die Prozesswässer. Typische CSB-Konzentrationen für Abwasser aus der Herstellung von Holzschliff liegen im Bereich 2000 bis 2500 mgO_2/l. Bei der Herstellung von Holzstoff können höhere CSB-Konzentrationen zwischen 2000 und 3500 mgO_2/l (oder höher) erwartet werden. Die Herstellung von CTMP wiederum führt im Vergleich zur Holzstoffherstellung zu einem beträchtlich höheren Herauslösen von Holzinhaltsstoffen. Nimmt man einen spezifischen Wasserverbrauch zwischen 10 und 20 m³/t Holzstoff an, schwanken die CSB-Konzentration im Gesamtabwasser aus der Holzstoff- und Papierherstellung vor der biologischen Behandlung normalerweise zwischen 600 und 2000 mgO_2/l.

In integrierten Fabriken wird das Abwasser aus dem Aufschlussbereich mit Wasser aus anderen Teilen der Fabrik (z.B. Streichereiabwasser, Abwasser aus der Herstellung von deinktem Faserstoff) vermischt und in einer herkömmlichen Behandlungsanlage behandelt. Üblicherweise schwankt die spezifische CSB-Fracht vor der biologischen Behandlung zwischen weniger als 10 kg O_2/t und 35 kg O_2/t (mit einem kleinen Anteil an peroxidgebleichtem Holzstoff). Für die Herstellung von Holzstoff, der vorwiegend mit Peroxid gebleicht wird, werden auch höherer spezifische CSB-Frachten berichtet (bis zu 90 kg O_2/t vor jeglicher (primärer) Behandlung.

Für Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und Papier ist es schwierig, mit BVT erreichbare Emissionsniveaus vor der biologischen Behandlung anzugeben, da die Schmutzfracht beträchtlich von den Zerfaserungsbedingungen (z.B. Temperatur), den angewandten Bleichsequenzen (pH-Wert-Niveaus) und den eingesetzten Rohstoffen (Holzarten, Lagerung) abhängt. Die Konzeption und das Ausmaß der Wasserkreislaufschließung (Wasserführung im Gegenstrom, Einsatz von Eindickern, Prozesswasserklärung) sind andere wichtige Einflussfaktoren. Folglich schwanken die Daten zur Menge und Zusammensetzung der gelösten und dispergierten Stoffe im Prozessabwasser der Fabrik vor der Behandlung und sind meist nicht ausreichend zum Ziehen von allgemeinen Schlussfolgerungen qualifiziert. Eine andere Schwierigkeit besteht darin, dass das Wassersystem der Holzstoffabteilung mit dem Wassersystem der Papierherstellung verbunden ist, was Wechselwirkungen zwischen den beiden Systemen bedingt.

Tabelle 4.16 gibt erreichbare Abwasseremissionsniveaus von einigen Holzstoffanlagen in Europa wieder, die ein Bündel von prozessintegrierten BVT eingeführt haben, aber nicht notwendigerweise alle und nicht notwendigerweise in vollem Umfang und die auch eine biologische Abwasserbehandlungsanlage betreiben. Die Zahlen in Klammern geben die Konzentrationswerte der Emissionen an.

Integrierte Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und Papier	**Berichtete erreichbare Emissionsniveaus nach biologischer Behandlung (Jahresmittelwerte)**						**Rohstoffe und Art der Abwasserbehandlung**
	CSB [kg/t]	$BSB_{5 \text{ oder } 7}$ [kg/t]	Abf. St. [kg/t]	Ges-P [kg/t]	Ges- N [kg/t]	Menge [3] [m3/t]	
Enso Summa, Finnland, Zeitungspapier	1,8 (75 mg/l)	0,21 (9 mg/l)	0,3 (13 mg/l)	0,007	0,07	24	keine Angaben
UPM Kaipola, Finnland, Zeitungspapier/LWC Papier	2,8 (150 mg/l)	0,1 (5 mg/l)	0,3 (16 mg/l)	0,005	0,07	19	keine Angaben
Steyrermühl, Österreich, Zeitungspapier	2,5 (125 mg/l)	< 0,2 (10 mg/l)	< 0,2 (10 mg/l)	< 0,01	< 0,03	17-20	SGW, TMP + 50% DIP, niedrig belas-tete BS
Braviken, Schweden, Zeitungspapier	2,0 (135 mg/l)	n/v	0,39 (26 mg/l)	0,004	0,1	15	TMP + RCFP; biol. Behandlung und chemische Fällung
Kvarnsveden, Schweden, Zeitungspapier, SC-Papier	2,0 (135 mg/l)	n/v	0,22 (15 mg/l)	0,002	0,054	15	TMP + GWP; biol. Behandlung und chemische Fällung
Fabrik 2, Deutschland, gestrichenes Papier (z.B. LWC-Papier)	0,85 (65 mg/l)	< 0,1 (8 mg/l)	0,15 (12 mg/l)	0,006	0,04 (anorg. N)	13	30% zugekaufter Zellstoff, 30% MP, 30% Füllstoffe, DIP, 2-stufiger Biofilter
Fabrik 3, Deutschland, LWC-Papier	0,8 (95 mg/l)	0,1 (12 mg/l)	0,07 (8 mg/l)	0,01	0,04 (anorg. N)	8,5	30% zugekaufter Zellstoff, 30% MP, 10% DIP, 30% Füllstoffe, BS
M-S Kirkniemi, Finnland, LWC-Papier	2,0 (180 mg/l)	0,15 (14 mg/l)	0,5 (45 mg/l)	0,003	0,04	11	BS und chemische Fällung
Ortviken, Schweden, Zeitungspapier, LWC-Papier	2,0 (105 mg/l)	n/v	0,29 (15 mg/l)	0,004	0,10	19	TMP; biologische Behandlung und chemische Fällung
Myllykoski, Finnland, LWC-Papier/SC-Papier	3,4 (180 mg/l)	0,3 (16 mg/l)	0,5 (25 mg/l)	0,011	0,06	19	BS und chemische Fällung
UPM Jämsänkoski, Finnland, SC-Papier	2,4 (160 mg/l)	0,06 (4 mg/l)	0,4 (25 mg/l)	0,006	0,09	15	BS und chemische Fällung
M-S Lielahti, Finnland, nicht-integrierte Fabrik zur Herstellung von CTMP	15 (650 mg/l)	1,1 (48 mg/l)	1,6 (70 mg/l)	0,025	0,31	23	BS
Rockhammar, Schweden, nichtin-tegrierte Fabrik zur Herstellung von CTMP	12	n/v	0,8	0,007	0,2	20	biologische Behand-lung und chemische Fällung
Waggeryd, Schweden, nichtinte-grierte Fabrik zur Herstellung von CTMP	22	n/v	2	0,03	0,9	19	Biologische Behhandlung
Fors, Schweden, integrierte Fabrik zur Herstellung von CTMP	20	n/v	1,5	0,003	0,2	16	biologische Behand- lung und chemische Fällung

Legende/Fußnote:
n/v = Daten nicht verfügbar;
BS = Abwasserbehandlung nach dem Belebtschlammverfahren; CP = purchased chemical pulp = eingekaufter Zellstoff; CTMP = chemi-thermomechanical pulp = chemisch thermomechanischer Holzstoff; DIP = Deinked pulp = deinkter Faserstoff; LWC = Light weight coated paper = LWC Papier; MP = Mechanical pulp produced on site = vor Ort hergestellter Holzstoff, RCFP = Recycled fibres pulp = Sekundärfaserstoff; SC = supercalandered = superkalandriert; SGW = Stone groundwood (pulp) = Holzschliff, TMP = Thermomechanical pulp = thermomechanischer Holzstoff
Die Liste von Fabriken stellt eine Auswahl solcher Fabriken dar, von denen Angaben vorlagen oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Die Daten stammen aus vorliegenden Umweltberichten, aus Statistiken des finnischen Umweltinstitutes, SEPA Report 4987 (Angaben von 1998), und aus persönlichen Mitteilungen. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes. In Schweden und Finnland werden die BSB-Werte als BSB_7-Werte angegeben.

Tabelle 4.16: Beispiele für erreichbare Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung von integrierten europäischen Holzstoffanlagen und Papierfabriken, die holzhaltiges Papier herstellen (Bezugsjahr: 1997)

Unter der Annahme einer hinreichenden Konzeption und Kapazität der Abwasserbehandlungsanlage und einer geeigneten Betriebsweise und einer Kontrolle durch ausgebildete Betriebspersonals können bei Einsatz der BVT folgende Abwasserwerte **nach** der biologischen Abwasserbehandlung erreicht werden:

Parameter	Einheiten	Integrierte Holzstoff- und Papierfabriken, wie Fabriken zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier[1], LWC-Papier [2] oder von SC-Papier [3]
BSB	kg/t Papier	0,2 – 0,5
CSB	kg/t Papier	2,0 – 5,0
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t Papier	0,2 – 0,5
AOX	kg/t Papier	< 0,01
Gesamt-P	kg/t Papier	0,004 - 0,01
Gesamt-N	kg/t Papier	0,04 - 0,1
Abwassermenge	m^3/t Papier	12 - 20

Anmerkungen:
1) Es wird angenommen, dass mehr als 50% der Fasern aus Holzstoff bestehen, die innerhalb der Fabrik hergestellt werden. In europäischen Fabriken zur Herstellung von Zeitungspapier können verschiedene Mischungen bezüglich der Faserzusammensetzung angetroffen werden. Die Faserzusammensetzung kann z.B. aus 50 – 60% gebleichtem TMP und 40 – 50% DIP bestehen
2) Es wird angenommen, dass mehr als 50% der Fasern aus Holzstoff bestehen, die innerhalb der Fabrik hergestellt werden. In europäischen Fabriken zur Herstellung von LWC-Papier können verschiedene Mischungen bezüglich der Faserzusammensetzung angetroffen werden. Die Faserzusammensetzung kann z.B. aus 30 – 40% zugekauftem gebleichtem Sulfatzellstoff und 50 -60% PGW oder TMP bestehen.
3) Es wird angenommen, dass mehr als 50% der Fasern aus Holzstoff bestehen, die innerhalb der Fabrik hergestellt werden. In europäischen Fabriken zur Herstellung von superkalandriertem Papier können verschiedene Mischungen bezüglich der Faserzusammensetzung angetroffen werden. Die Faserzusammensetzung kann z.B. aus 10 - 20% zugekauftem gebleichtem Sulfatzellstoff und zu 80 – 90% PGW oder TMP bestehen. 20 – 45% der Einsatzstoffe können aus Füllstoffen und Leim bestehen.

Tabelle 4.17: Mit dem Einsatz der besten verfügbaren Techniken erreichte Emissionsniveaus als Jahresmittelwerte für die Herstellung von holzhaltigem Papier (mit einem Holzstoffanteil von über 50%)
Die Werte gelten für integrierte Fabriken nach der biologischen Abwasserbehandlung. Die Emissionen von der Papiermaschine sind darin enthalten. Die BVT für die Papierherstellung sind in Kapitel 6.4 beschrieben.

Bei Fabriken, die im Alkalischen mit Wasserstoffperoxid bleichen, sind die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus eher am oberen Ende des Bereiches angesiedelt und in einigen spezifischen Fällen sind sie sogar höher (z.B. wenn die Fasermischung vorwiegend aus peroxid- gebleichtem Holzstoff besteht). Auf der anderen Seite können integrierte Holzstoff- und Papierfabriken, die einen beträchtlichen Anteil an zugekauftem Zellstoff als Bestandteil der Fasermischung einsetzen, niedrigere spezifische CSB-Frachten bis hinunter zu 1 kg O_2/t produziertem Papier erreichen.

Andere Arten von Fabriken zur Herstellung von Holzstoff und Papier
In Holzstoffanlagen, die eine integrierte Papierfabrik aufweisen, beinhalten die Abwasserbelastungen für das Endprodukt sowohl den Beitrag aus der Holzstoffanlage als auch aus der Papierfabrik. Bei den meisten Papierfabriken, die holzhaltige Papiersorten herstellen, wird angenommen, dass der benötigte Zellstoff (wenn erforderlich) von anderen Fabriken zugekauft wird. Der Beitrag des Wiederauflösens dieses Zellstoffs zur gesamten Abwasserbelastung ist im Vergleich zum Beitrag der Holzstoffanlage vernachlässigbar. Allerdings weisen einige Papier- und Kartonfabriken, die LWC-Papier oder Karton (z.B. Karton für Flüssigkeitsbehälter oder Faltschachtelkarton) herstellen, eine integrierte Fabrik zur Herstellung von gebleichtem Zellstoff auf. In diesen Fällen sind die Emissionen aus der Herstellung von Sulfatzellstoff entsprechend der Fasermischung hinzuzuaddieren. Es wird auf die in Abschnitt 2.4. präsentierten BVT-Referenzniveaus für die Herstellung von Sulfatzellstoff verwiesen.

Die BVT-Emissionsniveaus für integrierte Fabriken zur Herstellung von **Karton** (> 50 % Holzstoff) werden jenen Fabriken zur Herstellung von LWC-Papier ganz ähnlich sein. Die Fasermischung für mehrschichtige Kartons könnte z.B. aus 25 - 30 % gebleichtem Sulfatzellstoff und zu 70 - 75 % aus Holzstoff bestehen; Füllstoffe und Streichfarben können einen Anteil von 10 - 25 % aufweisen. Allerdings gibt es viele andere Fasermischungen in europäischen Fabriken zur Herstellung von Karton.

Die BVT-Emissionsniveaus für integrierte Fabriken zur Herstellung von holzhaltigem **Tissue** (>50 % Holzstoff) sollten im gleichen Bereich wie die für integrierte Fabriken zur Herstellung von superkalandriertem Papier oder Zeitungsdruckpapier liegen. Es gibt nur sehr wenige Fabriken in Europa, die holzhaltiges Tissue herstellen. Die Fasermischung für holzhaltiges Tissue könnte z.B. aus 50 - 60 % gebleichtem Holzstoff und zu 40 -50 % zugekauftem Zellstoff bestehen. Für diese Papiersorte werden keine spezifischen BVT-Emissionsniveaus unterbreitet.

Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die bei Einsatz der BVT erreichbaren Emissionsniveaus für die Herstellung von **CTMP** beträchtlich, da bei der Herstellung von CTMP im Vergleich zur Herstellung von Holzstoff sehr viel mehr Holzinhaltsstoffe herausgelöst werden. Die BVT-Emissionsniveaus nach Abwasserbehandlung sind in Tabelle 4.18 wiedergegeben.

Parameter	Einheiten	CTMP [1]
BSB	kg/t	0,5 - 1,0
CSB	kg/t	10,0 - 20,0
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	0,5 - 1,0
AOX	kg/t	-
Gesamt-P	kg/t	0,005 - 0,01
Gesamt-N	kg/t	0,1 - 0,2
Abwassermenge	m^3/t	15 - 20

Erklärung:
1) Die Emissionen beziehen sich auf die nichtintegrierte Herstellung von CTMP. Alkalische Vorbehandlung oder Vorbehandlung mit Natriumsulfit. Die Ausbeute bei der Mahlung beträgt 94 - 95% [Angaben von J.Pöyry, 1998 und Angaben von Fabriken].

Tabelle 4.18: Mit dem Einsatz der besten verfügbaren Techniken erreichte Emissionsniveaus als Jahresmittelwerte für die Herstellung von CTMP-Holzstoff
Die Werte gelten für nichtintegrierte Fabriken nach der biologischen Abwasserbehandlung. Die Emissionen von der Papiermaschine sind darin nicht enthalten. Bei integrierten Fabriken sind dazu die Emissionen aus der Papierherstellung, wie in Kapitel 6.4 beschrieben, entsprechend dem Produktionsanteil zu addieren

Tabelle 4.17 und Tabelle 4.18 sind im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen zu verstehen:

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB): Die CSB-Eliminationsraten hängen von Art und Menge der behandelten Abwässer (z.B. Abwässer aus der Herstellung von peroxidgebleichtem Holzstoff, reduktiv gebleichtem Holzschliff, deinktem Faserstoff sowie Streichereiabwässer), von der Ausführung und den hydraulischen Verhältnissen der Behandlungsanlage und von der richtigen Einstellung der Betriebsparameter ab. Das Abwasser aus dem mechanischen Aufschluss ist leichter abbaubar als jenes aus dem chemischen Aufschluss. In gut ausgelegten und betriebenen niedrig belasteten Anlagen werden CSB-Eliminationsraten von 75 - 90 % erreicht. Folglich können bei Fabriken, die holzhaltiges Papier herstellen, im Allgemeinen spezifische CSB-Frachten von 2 - 5 kg O_2/t Holzstoff erreicht werden. Die gemessenen CSB-Konzentrationen im Abwasser dieser Fabriken liegen im Bereich von 125 - 200 mg O_2/l. Fabriken zur Herstellung von CTMP leiten höher konzentriertes Abwasser ab. Wegen der chemischen Vorbehandlung der Hackschnitzel weisen Fabriken zur Herstellung von CTMP höhere Abwasseremissionen auf.

Biologischer Sauerstoffbedarf ($BSB_{5\ oder\ 7}$): Sofern die Einhaltung des geeigneten C:P:N-Verhältnisses und die ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet sind, wird der BSB des Abwassers aus Holzstofffabriken fast vollständig (95 + x%) entfernt.
Die mit den BVT erreichbaren BSB-Konzentrationen im behandelten Abwasser liegen unter 25 mg O_2/l (oft nahe der Bestimmungsgrenze). In Abhängigkeit von der Abwassermenge korrespondiert dies mit einer spezifischen BSB_5-Fracht von 0,2 – 0,7 kg O_2/t Holzstoff.

Abfiltrierbare Stoff (Abf. St.): Bei normalen Betriebsverhältnissen ist das Abwasser nach der zweiten Sedimentationsstufe völlig klar und weist einen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Bereich von 20 bis 30 mg/l auf. Dies entspricht Feststoff-Frachten von 0,2 – 0,5 kg abfiltrierbare Stoffe/t Holzstoff. Die Werte hängen von der Oberflächenbeschickung der zweiten Sedimentationsstufe und den Eigenschaften des Belebtschlammes ab.

Phosphor und Stickstoff (ges-P und ges-N): Zur Einhaltung des C:P:N-Verhältnisses, das für das Wachstum des Belebtschlammes von entscheidender Bedeutung ist, müssen für die biologische Behandlung gewöhnlich mineralische Nährstoffe zudosiert werden. Dabei erfüllt die bloße Konzentrierung auf die Zulaufkonzentration oder auf die Eliminationsraten für Stickstoff und Phosphor nicht ihren Zweck. Vielmehr ist es notwendig, zwischen den zulaufenden und für den Belebtschlamm verfügbaren N- und P-Verbindungen und den, wenn überhaupt, zuzugebenden Nährstoffen den richtigen Ausgleich zu finden und diesen aufrecht zu erhalten, was eine bestimmte feine Abstimmung der Nährstoffzugabe erfordert. Bei guter Optimierung des Systems werden

Phosphorkonzentrationen von unter 0,5 mg ges-P/l und Stickstoffkonzentrationen von 1 - 5 mg ges-N/l erreicht. Die entsprechenden spezifischen Frachten betragen 0,005 – 0,01 kg P/t Holzstoff bzw. 0,05 – 0,2 kg N/t Holzstoff.

Maßnahmen für die Reduktion der Abgasemissionen

Hilfskessel

In Abhängigkeit von der aktuellen Energiebilanz einer Fabrik, den eingesetzten externen Brennstoffsorten und dem Verbleib möglicher Biobrennstoffe wie Rinde und Holzabfall sind Abgasemissionen aus Hilfskesseln zu beachten. Die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus aus Hilfskesseln, in denen fabrikeigene Biobrennstoffe und verschiedene fossile Brennstoffe verbrannt werden, sind in Tabelle 2.44 wiedergegeben. Die gesamten Abgasemissionen sind sehr standortspezifisch (z.B. Brennstoffsorte, Energiebedarf, Stromerzeugung). Es ist anzumerken, dass Hilfskessel in der Holzstoff- und Papierindustrie von sehr unterschiedlicher Größe sein können (von 10 bis über 200 MW). Bei kleineren Kesseln können zu vernünftigen Kosten nur die Verwendung von Brennstoff mit niedrigem S-Gehalt und Verbrennungstechniken zum Einsatz kommen, während für größere Anlagen auch Verminderungstechniken in Frage kommen. Dieser Unterschied spiegelt sich in der nachfolgenden Tabelle wider. Die obere Grenze der angegebenen Bereiche gilt für kleinere Anlagen und kann ausschließlich durch die Brennstoffqualität und durch interne Maßnahmen erreicht werden; die untere Grenze (in Klammern) sind mit zusätzlichen Verminderungs-maßnahmen wie SNCR verbunden und kommen als BVT nur für größere Anlagen in Frage.

Emittierte Stoffe	Kohle	Schweröl	Gasöl	Gas	Biobrenn-stoff (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoff-einsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	25 - 50	<5	< 15
mg NO_x/MJ Brenn-stoffeinsatz	80 - 110 [2] (50-80 SNCR)[3]	80 - 110 [2] (50–80 SNCR)[3]	45 - 60 [2]	30 -60 [2]	60 - 100 [2] (40-70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] bei 6% O_2	10 - 40 [4] bei 3 % O_2	10 - 30 bei 3% O_2	< 5 bei 3% O_2	10 - 30 [4] bei 6% O_2

Anmerkungen:
1) Die Schwefelemissionen aus öl- oder kohlebefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Öl oder Kohle mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine bestimmte Reduzierung der S-Emissionen kann durch Einblasen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Es wird nur Verbrennungstechnologie eingesetzt.
3) Sekundärmaßnahmen wie SNCR werden auch eingesetzt; nur bei größeren Anlagen
4) Erreichte Werte bei Einsatz von Elektrofiltern
5) Bei Einsatz eines Wäschers; wird nur bei größeren Anlagen eingesetzt

Tabelle 4.19: Abgasemissionsniveaus für Hilfskessel bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe

VOC-Emissionen

Aufgrund der hohen Temperatur bei der Zerfaserung wird ein Teil der flüchtigen Holzinhaltsstoffe im Laufe des Prozesses verdampf. Die Menge und Zusammensetzung der flüchtigen organischen Stoffe (VOC) hängen größtenteils vom Harzgehalt des Holzes ab. In den Fällen, in denen Holzarten mit hohem Gehalt an extrahierbaren Stoffen eingesetzt werden, und die anfallenden VOC-Emissionen nicht ausreichend in den Wärmerückgewinnungseinheiten und im Wäscher für den Dampf vom Anfahren der Anlage zur Herstellung von Holzstoff nicht ausreichend zurückgewonnen werden, werden die Erfassung und weitere Behandlung der flüchtigen Verbindungen als BVT angesehen. VOC-haltiges Abgas kann in bestehenden Kesseln verbrannt werden.

Emissionen aus der Verbrennung von Rückständen

Bei Kesseln zur Verbrennung von festen Abfällen gilt der Einsatz der Wirbelschichttechnologie als BVT. Die Rauchgase werden bei gegebener Zusammensetzung der zugeführten Brennstoffe entsprechend den Anforderungen gereinigt.

Maßnahmen zur Reduzierung fester Abfälle

Das meiste als Abfall anfallende Material entsteht bei der Entrindung (Rinde, bei der Entrindung auftretende Holzverluste, Sägemehl und Staub vom Hacken). Andere feste Abfälle bestehen aus Faserverlusten während des Aufschlusses und aus Schlamm aus der primären und sekundären Abwasserbehandlung. In vielen Fabriken werden diese Rückstände, die einen hohen Gehalt an organischen Stoffen aufweisen, zurückgewonnen und in Hilfskesseln verbrannt. Im Allgemeinen werden folgende Maßnahmen als BVT angesehen:

1. Weitestgehende Verminderung des Anfalls von festen Abfällen und, soweit wie möglich, ihre Rückgewinnung, Rückführung und Wiedereinsatz.
2. Separate Erfassung der Abfallfraktionen am Ort ihrer Entstehung und, falls erforderlich, Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfall, um eine sachgerechte Aufbereitung der übrig bleibenden Abfallstoffe zu ermöglichen.
3. Verbrennung der gesamten, nicht gefährlichen organischen Stoffe (Rinde, Holzabfall, Klärschlamm etc.) in emissionsoptimierten Hilfskesseln, die speziell für die Verbrennung von feuchten Brennstoffen mit niedrigem Heizwert ausgelegt sind (z.B. Wirbelschichtkessel).
4. Soweit möglich, externe Wiederverwendung von Reststoffen/Abfall als Ersatzstoffe in der Forstwirtschaft, Landwirtschaft oder in anderen Industrien.
5. Weitestgehende Verminderung der Deponierung von Rejekten.

Es ist anzumerken, dass hinsichtlich der erreichbaren Abfallmengen wenig detaillierte und verlässliche Informationen verfügbar sind. Es fehlen statistische Angaben und in Europa gibt es für die unterschiedlichen Abfallfraktionen verschiedene Begriffe. Einige Länder machen nur zu solchen festen Abfällen Angaben, in erster Linie zu anorganischen festen Abfällen, die nicht länger rückgeführt und wieder eingesetzt werden können, sondern auf einer Deponie abgelagert werden müssen. Dies bedeutet, dass bereits alle organischen Abfälle, die einen vernünftig hohen Heizwert besitzen und/oder die ohne Risiko im Hinblick auf die Emission von gefährlichen Stoffen im Hilfskessel einer Fabrik verbrannt werden können, nicht in den anfallenden Abfallmengen beinhaltet sind (Rinde und Holzabfall, Primär- und Belebtschlamm aus der Abwasserbehandlung). Folglich besteht der auf einer Deponie abzulagernde Abfall hauptsächlich aus Kesselaschen, Schlamm, etwas Holz- und Rindenabfall, Rejekten und sonstigen Reinigungsabfällen und aus gemischten, hausmüllähnlichen Abfällen.

Vor dem Hintergrund der vorgenannten Gründe werden für die Menge an nichtgefährlichen festen Abfällen keine erreichbaren Werte genannt.

In allen Fabriken fällt eine kleine Menge gefährlichen Abfalls an. Dieser umfasst Öl- und Fettreste, altes Hydraulik- und Transformatorenöl, Abfallbatterien und anderen Elektroschrott, Lösemittel, Farben, Biocide und Chemikalienrückstände etc.. Normalerweise beträgt die spezifische Menge ca. 0,05 - 0,1 kg/t Produkt.

Energiesparmaßnahmen

Im Allgemeinen wird in diesem Industriesektor der Einsatz von energieeffizienten Technologien als BVT angesehen. In vielen Stufen innerhalb des Produktionsprozesses sind zahlreiche Optionen zur Energieeinsparung verfügbar. Üblicherweise sind diese Maßnahmen mit Investitionen für den Ersatz, den Umbau oder die Modernisierung von Anlagenteilen verbunden. Es ist anzumerken, dass Energieeinsparmaßnahmen meist nur zur Energieeinsparung eingesetzt werden. Die Produktivität, die Verbesserung der Produktqualität und die Reduktion der Kosten insgesamt bilden die wichtigste Grundlage für Investitionen.

Zur Reduktion des Energieverbrauchs stehen folgende Maßnahmen zur Verfügung:

1. Einführung eines Systems zur Erfassung des Energieeinsatzes und der Effektivität des Energieeinsatzes. Auf der Grundlage zuverlässiger Informationen hinsichtlich der Effektivität des Energieeinsatzes können geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Ein Energiemanagement beinhaltet die Festlegung, die Überwachung, die Überprüfung und die Überarbeitung von Zielen für den effektiven Energieeinsatz.
2. Modernisierung von Anlagenteilen. Beim Ersatz von Anlagenteilen durch solche mit geringerem Energieverbrauch bieten sich automatisierte Kontrollsysteme anstelle von herkömmlichen manuellen

Systemen an. Automatisierte Kontrollsysteme erlauben eine effizientere Kontrolle, was zu einer genaueren Prozessführung und zu höheren Energieeinsparungen führen kann (siehe Abschnitt 6.3).

3. Weitestgehende Verminderung der Rejektverluste durch Einsatz von wirksamen Aufbereitungsstufen und durch Rejektmahlung. Sofern Faserbündel (Splitter) und nicht aufbereitete Grobfasern aus der Hauptprozesslinie entfernt werden, würde die Energie, die bereits für das erste Schleifen/Mahlen eingesetzt wurde, verloren gehen. Auf diese Weise werden die durch die Reduktion der Rejektverluste nach dem Schleifen und der Hauptmahlstufe und weiteren Stufen zum Mahlen der Splitter und der Grobfasern zur Einstellung des benötigten Qualitätsniveaus der spezifische Energieverbrauch vermindert.
4. Einsatz von effektiven Wärmerückgewinnungssystemen (betrifft nur Holzstoff- und CTMP-Anlagen). Im Zuge der Zerfaserung von Holzstoff fallen große Dampfmengen an, da ungefähr zwei Drittel der elektrischen Energie zum Zerfasern in Wärmeenergie in Form von heißem Sattdampf umgewandelt wird. Dieser Dampf aus der Holzstoffherstellung enthält Verunreinigungen, die eine direkte Verwendung nicht erlauben; vielmehr ist der Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage erforderlich. Der Dampf aus der Holzstoffherstellung wird in Zyklonen von Fasern befreit und anschließend in einem Kessel unter Verdampfung von sauberem Dampf kondensiert. Der saubere Dampf wird normalerweise in der Papiermaschinenabteilung eingesetzt.
5. Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung, soweit dies das Strom/Dampf-Verhältnis erlaubt.

Für weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, die im Allgemeinen in Papierfabriken angewandt werden können, wird auf Abschnitt 6.3 verwiesen. Die wichtigsten Verbesserungsmöglichkeiten, die in diesem Abschnitt dargestellt werden, sind z.B. die Optimierung der Entwässerung bei der Siebpartie und der Einsatz einer Schuhpresse und der Einsatz energieeffizienter Technologien. An dieser Stelle wird auch die Reduktion des direkten Dampfeinsatzes durch sorgfältige Prozessintegrierung unter Anwendung der Pinch-Analyse erwähnt.

In vielen europäischen Ländern sind öffentlich zugängliche Informationen über die Energiebilanz von Papierfabriken nur spärlich verfügbar. Es sind unterschiedliche Berichtssysteme im Einsatz. Auch hängt der Energiebedarf von der Produktqualität (z.B. dem Ausmaß der Mahlung) und teilweise von den örtlichen Bedingungen ab. Deshalb ist es schwierig, die mit den BVT erreichbaren Energieverbrauchswerte anzugeben. Die in Tabelle 2.46 enthaltenen Bereiche für den Energieverbrauch sollten nur als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch von Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Holzstoff- und Papierfabriken genommen werden. Weitere Beispiele für energieeffiziente Fabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen könnten der überarbeiteten Version dieses BREFs hinzugefügt werden.

Fabriktyp	**Prozesswärmever-brauch (netto) in GJ/t [1)]**	**Stromverbrauch (netto) in MWh/t**
Integrierte Fabrik zur Herstellung von maschi-nengeglättetem Zeitungsdruckpapier (100% Holzstoff)	- 1,3 [2]	2,2
Integrierte Fabrik zur Herstellung von superkalan-driertem Zeitschriftenpapier (100% Holzstoff)	- 0,3 [2]	2,1
Integrierte Fabrik zur Herstellung von Zeitungs-druckpapier (>50% Holzstoff)	0 - 3,0	2,0 - 3,0
Integrierte Fabrik zur Herstellung von LWC-Papier (>50% Holzstoff)	3,0 - 12,0	1,7 - 2,6
Integrierte Fabrik zur Herstellung von SC-Papier (>50% Holzstoff)	1,0 - 6,0	1,9 - 2,6
Integrierte Fabrik zur Herstellung von Karton (>50% Holzstoff)	3,5 - 13,0	2,3 - 2,8
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstellung von CTMP	0	2,0 - 3,0

Legende/Anmerkungen: (-) deutet einen Überschuss an
Die Einheiten können wie folgt von MWh in GJ umgerechnet werden: 1 MWh = 3,6 GJ und 1 GJ = 0,277 MWh
Angaben von [J.Pöyry, 1998], [SEPA Report 4712-4, 1997], [Finnish BAT Report, 1997]

1) Der Netto-Prozesswärmeverbrauch hängt hauptsächlich von der Art der Mahlung und dem Ausmaß der Wärmerückgewinnung ab

2) Die Werte können nur dann erreicht werden, wenn sowohl die Wärmerückgewinnung als auch die Papiermaschinenpressenpartie und der Stromeinsatz umgesetzt sind und in idealer Art und Weise betrieben werden. Bei bestehenden Prozessen ist dies nur selten der Fall.

Tabelle 4.20: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Energieverbrauch je Tonne Produkt für unterschiedliche Herstellungsarten holzhaltiger Papiere

Lärmminderungsmaßnahmen

BVT ist die Reduktion der wahrnehmbaren Lärmpegel in der Nachbarschaft der Papierfabriken. Die eingesetzten Maßnahmen hängen in großem Umfang von den spezifischen Lärmproblemen einer Fabrik und von den gesteckten Zielen ab. Normalerweise sind umso aufwändigere Maßnahmen erforderlich, je näher die Fabrik in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Wohngebiet liegt.

Chemikalieneinsatz

Es wird auf Abschnitt 6.4 verwiesen.

4.5 Emerging Techniques

4.5.1 Use of new evaporation techniques as “kidney” for internal cleaning of process water

Description: In mechanical pulping most of the organic material released during production comes from a few sources (e.g. filtrate water of bark compression, separated flow from debarking circulation water, dissolved organic material during grinding/refining, bleaching filtrates). Currently, in most mills wastewater treatment is done together for all mill effluents, which is a purposeful way to achieve a stable operation in the biological treatment. Recently, a few mills introduced new concepts, which focus on internal treatment of most concentrated or problematic partial wastewater streams by other techniques. Thus, it is tried to separate contaminants closer to their place of origin to decrease the size of the water treatment equipment needed. In principal, to reduce the amount of contaminants, micro-flotation, membrane filtration, chemical oxidation, evaporation and combinations of these techniques could be used. Energy consumption and investment and operating costs in the given application will have a crucial influence on the choice of treatment system.
For mechanical pulp and paper mills multi-effect vacuum evaporation seems to be especially promising because sufficient amounts of waste heat is available to operate the treatment system.

Status of development: Two mechanical pulp mills in Sweden and Finland have recently built an evaporation plant to treat a large portion of the TMP (StoraEnso Kotka, FI) and CTMP effluent (Stora Fors, SE). Both mills are using a new kind of co-current type Multi Effect Evaporator called ZEDIVAP™ to produce pure water for reuse. Free flow falling-film lamellas are used as heat transfer surfaces. Optimisation work is still carried out in both mills.

Environmental implications: This new application of advanced wastewater techniques opens the door to significant reductions in effluent volumes and loads to recipient. The process utilises waste heat streams available in the mill and the effluent’s own latent heat. In this case, the electricity consumption of the evaporation plant is approximately in the same range than in conventional biological systems. The total energy demand depends on the number of effects. For instance, a plant with 10 effects needs only 10% of the energy of a single effect. However, the handling and treatment of the concentrates are still waiting for a satisfactory solution. In the present, there are very site-specific solutions (burning of concentrates in adjacent kraft pulp mills recovery boiler). A prerequisite for the application of those systems is that strict water management is followed in all departments of a mill.

Economic considerations: Modern techniques for internal cleaning and reuse of process waters can be as cost effective as traditional wastewater purification (biological treatment). [Edelmann, 1999] has compiled figures on energy consumption, and investment and operating costs for the major treatment options as shown in the following table. However, whether this technique can be economically justified depends on the specific conditions of the given mill.

Water treatment methods	Electricity consumption kWh/m³ water	Typical capacity (m3/d)	Investment costs Euro/(m³/d)	Operational costs Euro/(1000 m³)
Chemical treatment of raw water	0.30	30000	170	73
Biological effluent treatment	1.20	30000	620	136
Microflotation	0.23	10400	20	104
Ultrafiltration	2.60	5000	470	153
Multiple effect evaporation	1.34	3600	840	35
Mechanical vapour compression	13	3600	1360	328
Cooling tower	0.12	39000	130	3
Note: Figures are based on equipment deliveries only and total project costs/local application costs are not included				

Quellenangaben: [Edelmann, 1999], [Gartz, 1996], [Gartz, 1998], [Wigsten, 1995], [Legnerfält, 1997]

4.5.2 New energy efficient TMP processes

Description: The TMP process consumes large amounts of electrical energy in the range of 1600-3200 kWh/Adt. The process shows a great flexibility in many respects and it is not likely that the industry would switch the existing TMP processes to PGW (apart from some cases), which consumes less power (about 600-1200 kWh/Adt less) than TMP production for the same grades.

Therefore, a lot of development work has been focusing on reduction of the power consumption in the TMP process. There have been promising pilot trials such as the KCL multistage process, which indicate that significant power reductions of about 10-15% (200-450 kWh/t) are possible by changing the refining strategy. This claim cannot be fully verified at present stage. However, since the mid-1990s there are also a few mill-scale applications of new energy efficient TMP processes (RTS, Thermopulp®).

Status of development: There are two new TMP systems on the market, the RTS process and the Thermopulp® process, that consume substantially less energy than “normal” TMP processes. In the mid-1990s, several lines of the Thermopulp® process went into operation both in Europe and North America. The first RTS installation was at Perlen Papier AG, Switzerland, in 1996. Both system can be considered as available techniques but would normally only be installed at new mills or when existing equipment is replaced.

Environmental implications: The so-called “RTS” process reduces the energy consumption in chip refining by increasing the disc speed. The high speed operation is restricted to the first refining stage. At the same time the temperature is raised during this stage. “R“ stands for retention time, the “T“ for temperature, and the “S“ for speed. The first full-scale experience suggests that an energy reduction in the order of 15% compared to conventional TMP is possible using this system. Specific energy consumption of the first commercial RTS operation is 1.85 MWh/ at a Freeness level of 94.
In the Thermopulp® process, the first refining stage is performed at a relatively low temperature. The pressure and temperature are raised before the second stage refining, which is performed at very high pressure and temperature (up to 700 kPa and 170°C). Energy savings of 10-20% have been reported. Specific energy consumption in mill scale at a North American mill is 1.75 MWh/t at a Freeness of 160.

Economic considerations: No data available. Energy savings must be balanced with investment costs. It can be expected that the new technology will only be implemented gradually due to remaining life-time of present equipment and plants.

Quellenangaben: [SEPA-Report 4712-4, 1997], [Paper Science and Technology, 1999]

5 RECOVERED PAPER PROCESSING

Recovered fibre has become an indispensable raw material for the paper manufacturing industry, accounting about one-third of the total raw materials because of the favourable price of recovered fibres in comparison with the corresponding grades of market pulp and because of the promotion of wastepaper recycling by many European countries. In Europe there is an average utilisation rate of recovered paper of 43 %. But is has to be taken into account that the maintenance of the fibre cycle relies on the feed of a certain amount of primary fibres to ensure the strength and other properties of the paper to be produced.

For effective use of recovered paper it is necessary to collect, sort and classify the materials into suitable quality grades. [4] Therefore, after collection recovered paper is brought to the collection yards where it is sorted. Detrimental substances as e.g. plastics, laminated papers etc. are removed before balling as well as possible. The sorted recovered paper is usually compacted by baling machines. Industrial recovered paper from large generators is usually delivered to and processed in recovered paper yards integrated in the paper mill.

5.1 Applied Processes and Techniques

The recovered paper processing system varies according to the paper grade to be produced e.g. packaging paper, newsprint or tissue paper and the type of furnish used. Generally, recycled fibre (RCF) processes can be divided in two main categories:

- Processes with exclusively mechanical cleaning i.e. *without deinking* comprising products like testliner, corrugating medium, uncoated board and cartonboard
- Processes with mechanical cleaning and *de-inking* comprising products like newsprint, tissue, printing and copy paper, magazine papers (SC/LWC), coated board and cartonboard or market DIP

Many different recovered paper processing systems are applied in European paper mills. However, they are all based on similar process steps that may be combined differently to fulfil their specific task. All process systems are aiming at defibration, deflaking and removal of impurities i.e. efficient separation of fibrous material and impurities and contaminants. Recycled fibre plants consist of similar "building blocks" designed for the specific task. These typical stages of recycled fibre processing are as follows:

Recovered paper storage
Recovered paper is normally delivered to the paper mill in the form of bales kept together by metal wires or straps. The bales are opened by cutting the wires or straps that are collected and sold as metal waste. To some mills recovered paper is also delivered as loose material in big containers or by bulk dumping. The recovered paper is stored on recovered paper yards integrated in the paper mill.

Repulping of the dry recovered paper
The recovered paper is put into a pulper together with hot water or white water, and pulped with mechanical and hydraulic agitation resulting in their disintegration into fibres. After repulping the recovered paper has a pulping consistency for subsequent treatment. Some chemicals such as deinking agents and NaOH are often added as pulping additives. Usually the detachment of inks already begins in the repulping stage. Different technical solutions are available for various types of raw materials and products. There are three types of pulper: low consistency (LC: 4-6% DS), high consistency (HC: ca. 15 -20%) and drum pulpers. There are batch and continuous

[4] CEPI has published in February 1999 the European List of Standard Grades of Recovered Paper and Board“. This list gives a general description of the standard grades by defining what they do and do not contain.

types. Contaminants and clusters are removed continuously during operation by a dirt trap (e.g. screen plate) and are sent to a reject conveyor, in order to avoid the contaminants breaking into small pieces or accumulating in the pulper. There is an increasing use of secondary pulpers for further defibration, deflaking and cleaning from heavy-weight (HW) and lightweight (LW) dirt. The installations trade under different names but are based on similar functioning. Also screening drums are used.

Normally, the water for disintegration is totally re-circulated process water that come as white water from the paper machine.

Mechanical removal of impurities

The removal of mechanical impurities is based on the differences in physical properties between fibres and contaminants, such as size, specific gravity compared to fibres and water. Basically there is screen-type equipment with different dimensions of screen opening (holes and slots) and various types of hydrocyclones (high consistency cleaners, centrifugal cleaners etc.).

The partially cleaned pulp slurry is pumped from the pulper to hydrocyclones (high density cleaners) in which centrifugal forces remove smaller heavy weight particles. The rejects of these cleaners as well as of the pulper disposal system usually have to be disposed of by landfilling (high content of inorganic material).

The next process stage is screening to separate contraries, which are larger than the openings of the perforated baskets of the pressurised screens. The selection of screen type depends on end product and the quality of the fibre furnish used. Coarse screening (3-4% consistency) for the removal of coarse contaminants during stock preparation can be distinguished from fine screening in the approach flow (1% consistency) of the paper machine. The applied devices are similar in functioning but have different fineness of the separating optimum. Generally, screening at a lower consistency is more efficient, but it requires extended machinery installations and consumes more energy. The reject has to be deposited or further treated.

Depending on the furnish quality to be achieved the stock preparation plant for recovered paper processing has to be equipped with additional machines such as fractionators, dispergers or refiners. A fractionator separates the pulp in two fractions rendering it possible to treat short and long fibres of the pulp slurry in different manners. The energy demanding process of disperging can be performed in order to achieve improved fibre-to-fibre bonding (better strength characteristics) in the paper produced and to reduce visible dirty specks in size. A stock preparation plant for the processing of recovered paper can be optionally equipped with refiners to improve optical and strength characteristics of the paper. Refining is associated with a substantial energy demand.

A possible arrangement of RCF process with mechanical cleaning for the production of case making materials (here: testliner) is shown in figure below. It has to be pointed out that in practice each plant is individually equipped with machines of one or several suppliers, depending on the recovered paper grades used, the demands of the final product quality, the runnability of the paper machine and on local conditions regarding environmental issues.

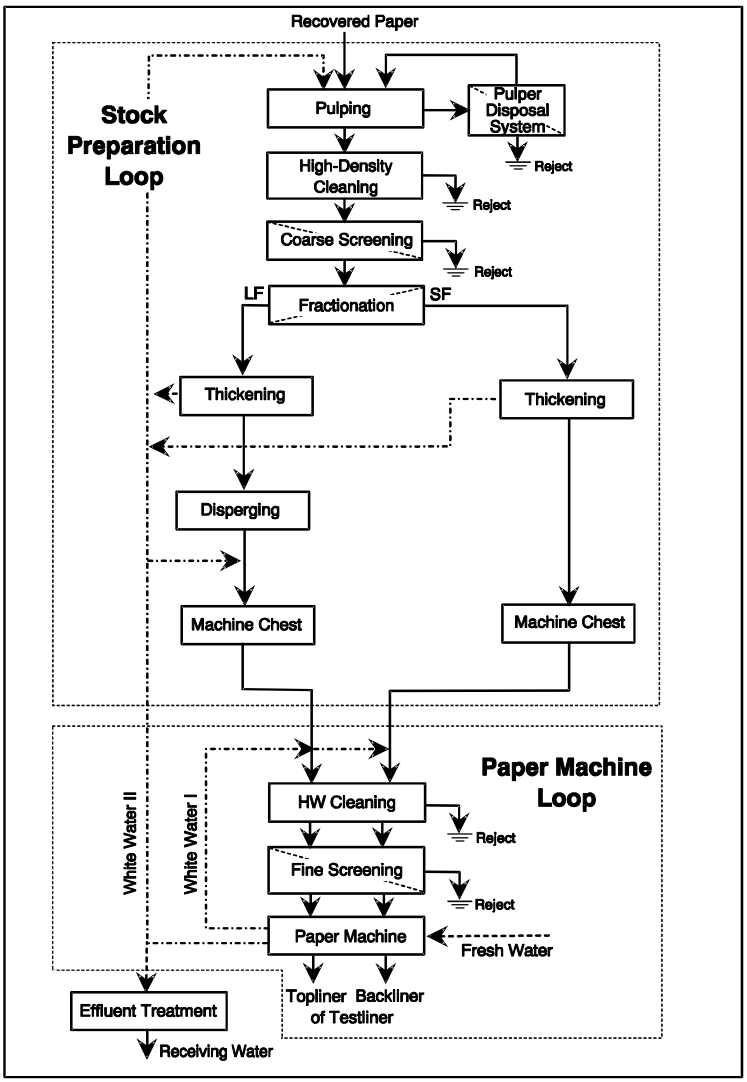


Figure 5.1: Flowsheet of an example for a stock preparation plant concept for processing recovered paper for case making material (2-ply testliner)
[IFP, 1998]; HW = heavy-weight impurities; LF = Long fibre fraction; SF = Short fibre fraction

The preparation of recovered paper for the manufacturing of testliner and corrugated medium is applied by about 150 mills in Europe. It is the first market in tonnage for paper-board in Europe (case materials[5] account for 26% percent of the total paper and board production using a share of 86% of recycled pulp as an European average).

Processes with flotation deinking (optional)
Ink removal is necessary in plants manufacturing paper grades where brightness is important e.g. for newsprint, printing and writing paper, tissue or light topliner of recovered paper based cartonboards. The main objectives of deinking are increasing of brightness and cleanliness and reduction of stickies. It should be noted that the difference between de-inked and non de-inked grades is in the process and not in the product itself. Depending on the quality of the recovered paper used, market requirements or production needs, also packaging papers and boards could be de-inked.

[5] Case materials: Papers and boards mainly used in the manufacture of corrugated board. They are made from any combination of virgin and recovered fibres but the raw material used by this industry is mostly based on waste paper-board. Included are kraftliner, testliner, semi-chemical fluting, and waste paper based fluting (wellenstoff).

A complete deinking plant includes also the above mentioned basic unit operations repulping, screening and cleaning for removal of coarse contaminants (non-paper items as stones, sand, metal, string, glass, textiles, wood, plastic foils, paper clips etc.). Additionally to mechanical cleaning of the furnish a chemical pretreatment of the pulp and a removal of printing inks in flotation cells is carried out. A prerequisite for successful deinking is that the ink particles are released from the fibres and kept in dispersion. For this purpose deinking chemicals as NaOH, sodium silicate, hydrogen peroxide, soaps or fatty acids and chelating agents are added mostly already in the pulping sequence (usually there is no need for the use of chelating agents in recovered paper bleaching). The dispersed ink particles are then separated from the fibre slurry by means of (multi-stage) flotation techniques. The operation principles of flotation deinking are the following: Air is introduced to incoming pulp in fine bubbles; ink particles are collected by surface chemical characteristics to air bubbles; ink laden froth is skimmed out from the surface. Depending on the cell size and construction there may be several cells in series to achieve a proper dwell time for ink removal. In order to reduce fibre loss with deinking sludge the foam from primary cells is often treated with secondary cells in cascade mode. Ink froth and rejects are dewatered separately in a centrifuge or wire press type equipment up to 50% DS. Deinking sludge is incinerated or deposited.

After deinking the pulp is thickened and sometimes washed using sieve belt presses, (disc) thickeners, screw presses, and washers. After these cleaning steps, the pulp may still contain small residual impurities, such as remains of printing ink particles, wax or stickies, which originate e.g. from hot-melt glues etc. These impurities can be dispersed so finely with a disperser that the particles are invisible to the naked eye. Before dispersion the dry solids content of the pulp has to be increased from around 5 - 12% % to 25-30% because dispersion requires strong friction forces and high temperatures around 95 °C or more. The dispergers itself are a similar device as refiners as described in Section 4.1.2. After dispersion the stock is diluted again.

The order of the operation may vary from mill to mill and some of the steps may be repeatedly performed.

A deinking plant concept with flotation deinking for the preparation of RCF for newsprint is shown in Figure 5.3.

Processes with wash deinking and ash removal (optional)
Flotation deinking is efficient for particle sizes from 5-100 µm. Ink particles, which are smaller than the optimum range for flotation deinking can be removed by washing deinking which is basically a multistage dewatering. Besides inks, fillers and fines are removed by washing. Washing is often carried out in several stages with counter-current water flow i.e. the filtrate of the secondary stage is used for dilution of the stock in the preliminary stage. Coated papers are especially sensitive to impurities in the uncoated base paper and require very clean RCF pulps. Therefore, a modern deinking plant for preparation of recovered paper to LWC paper includes often both flotation and washing deinking as they complement each other.

If ash removal is required as for tissue paper or for market DIP the system must always include a washing stage as shown in Figure 5.4.

Bleaching (optional)
Before entering a storage tower the pulp is often bleached by use of bleaching chemicals. Generally hydrogen peroxide (P), hydrosulphite (Y) or formamidine sulfinic acid (FAS) are used. Bleaching chemicals are added directly in the disperger to maintain or increase the brightness. The reaction itself takes place in a bleaching tower ensuring a sufficient dwell time. Any possible increase in brightness depends on the raw material and on the pre-treatment of the stock. Hydrogen peroxide bleaching is carried out in the presence of NaOH, sodium silicate and sometimes chelating agents. For almost wood-free secondary fibre stock so-called unconventional bleaching chemicals oxygen and ozone can be used.

Finally the pulp is pumped to the storage chests or mixing chests. These chests serve as a buffer between the stock preparation and the actual paper machine, to promote process continuity. In the mixing chests the required additives are added and the correct fibre consistency is adjusted for proper sheet-forming in the paper machine.

Process water purification
Water from the dewatering stages may be clarified in a micro-flotation unit. The process water is then reused in the process. The micro-flotation unit gives a sludge that is thickened and deposited or incinerated. In case of washing deinking the total water usage is reduced by recycling the wash water as well. Solids have to be removed from the filtrate by a separate flotation unit.

Final cleaning and dewatering
Different types of fine screens and cleaners remove residual contaminants before the highly diluted pulp slurry is fed to the paper machine.
Dewatering/thickening may be done by disc filters and screw presses to achieve the pulp consistency needed as well as to keep the white water loops separated.

Reject and Sludge Handling
In the processing of recovered paper various types of rejects and sludge in varying quantities are collected and have to be handled. These are treated in the sludge and reject system. A reduction in the quantity of residues to be disposed of can be achieved if similar types of rejects from various process steps in the stock preparation and the approach flow system are collected and treated together. Fibre recovery also contributes to minimising the quantity of residues.

5.1.1 Examples of Recovered Paper Processing Systems

Various product characteristics require different cleanliness and brightness properties from the RCF pulps and the process concepts vary accordingly. For example, de-inking is not required in many board grades. On the contrary, a very efficient multistage process is required for high speed paper machines, thin paper or for grades where brightness is important. The degree of sophistication of the whole process depends on the furnish used and the paper grade to be manufactured. Therefore it is not reasonable to describe "one typical" recovered paper processing system.

In the following the main recoveredpaper processing systems that can be distinguished are discussed more in detail by way of example:

- RCF stock preparation for packaging paper and paperboards (testliner and corrugated medium)
- RCF stock preparation for newsprint and simple printing and writing papers
- RCF stock preparation for LWC/SC papers and high-grade printing and writing paper
- RCF stock preparation for tissue and market deinked pulp (DIP).

The recovered paper processing systems may differ from each other by using different types of furnish and they have different impacts on the environment with respect to energy and fresh water demand, effluents and residues.

5.1.1.1 Packaging Paper and Boards

For the production of packaging papers or board from recovered paper i.e. testliner and corrugated medium only mechanical cleaning is applied i.e. no deinking process is needed. For these paper grades supermarket and mixed recovered paper grades are commonly used. The

following diagram shows a system for the preparation of secondary fibre testliner. For the preparation of testliner stock there are more complex two loop systems (Figure 5.2) and lower cost single loop systems in operation. The two loop system allows easier control of the process resulting in improved paper machine efficiency and operates with a screening stage at the approach flow purely as a safeguard measure (police function). During pulping coarse rejects are separated and the flake (flock) size is pre-calibrated. The following multi-stage cleaning and screening system removes heavy particles (e.g. sand), flat disturbing components, stickies, fine sand and leads to deflaking of the stock with good optical homogeneity. For testliner and fluting systems some mills are operating with totally closed water loops. Closed water loops operate satisfactorily from the point of view of manageable plant conditions and good product quality if around 3 to 4 m³ of process water per tonne finished stock are treated in an integrated biological clarification plant (see Section 5.3.4).

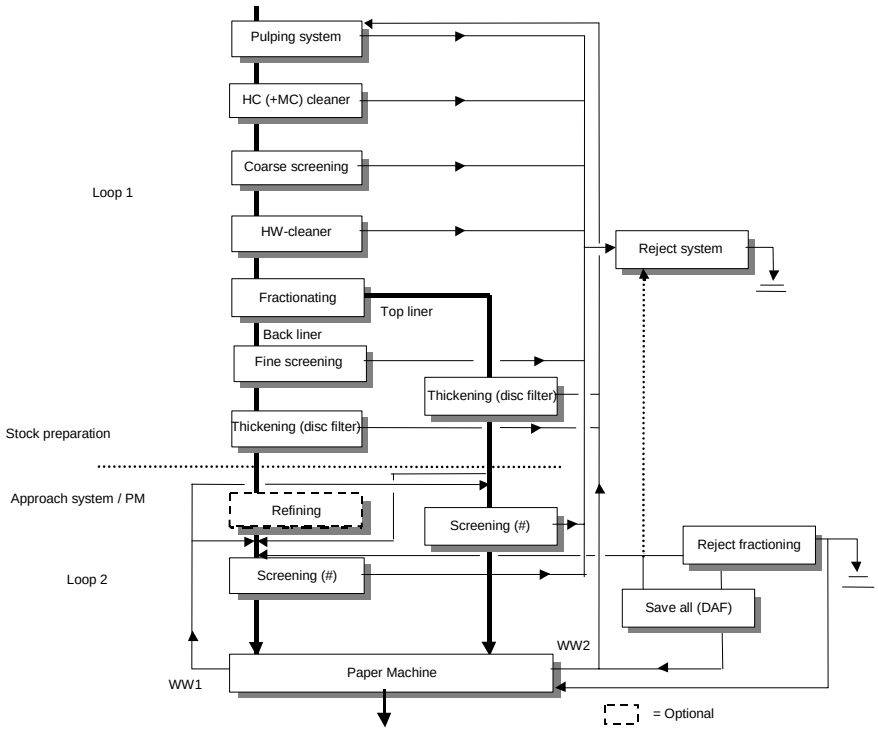


Figure 5.2: Example of an overall plant concept for testliner (2-loop system)
HC + LC = high & low consistency cleaners; HW = Heavy-Weight; DAF = Dissolved Air Flotation; # = Slot screens.
The processing of recovered paper tends to be similar for the different grades of packaging paper. High-grade folding box board tends to require a greater deal in terms of process equipment than testliner, testliner manufacturing usually requires a greater deal than fluting

5.1.1.2 Newsprint and Simple Writing and Printing Paper

The system shown in Figure 5.3 represents an example of a possible lay out for the production of stock for newsprint. The raw material used is a typical deinked pulp consisting of a 50:50 mixture of newspapers and magazines. The system is characterised by a two-stage flotation and bleaching combined with an intermediate dispersion. For upgraded newsprint qualities with higher demands on brightness, a reductive stage with hydrosulphite may follow thickening. For the production of graphic papers from recovered paper, water loop design and water clarification is especially important.

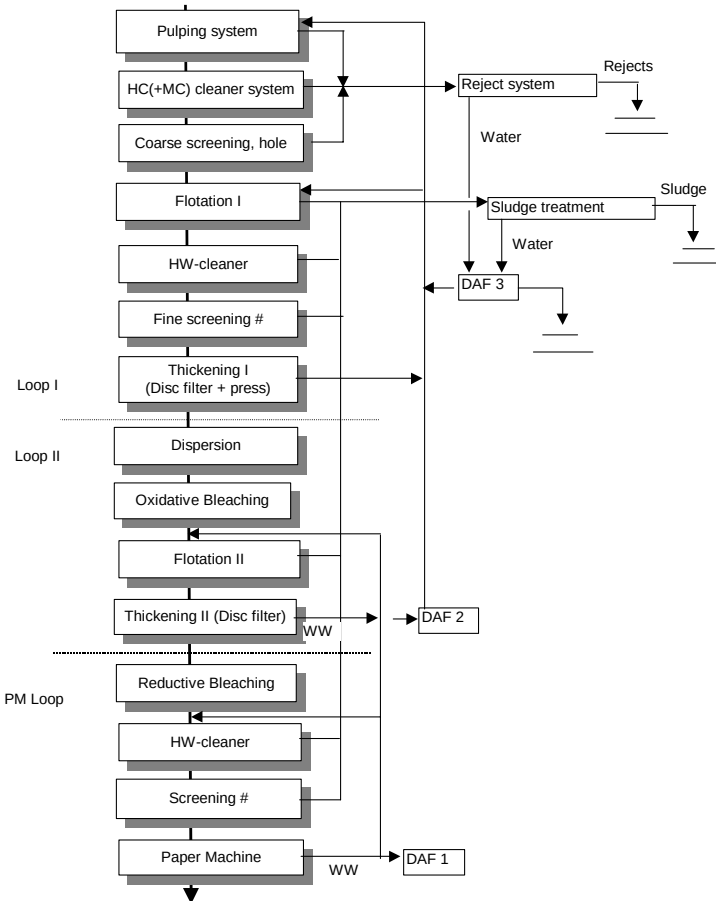


Figure 5.3: Example for an overall plant concept for (improved) newsprint
There are also other approaches to newsprint line process configurations
LC = Low Consistency; MC = Middle Consistency; HC = High Consistency; HW = Heavy-Weight; DAF = Dissolved Air Flotation; Oxidative bleaching (peroxide): for brightening the fibre stock and reduction of fibre mottling effect; Reductive bleaching (Hydrosulfite, FAS): for colour stripping

A systematic separation of the individual water loops based on the counter current principle is essential. Deinking lines can consist of various configurations and there can be two, three or in some cases four loops. Above, a two-loop system in the stock preparation system with a separate paper machine loop is shown. Internal clarification of the water circuits which are separated by thickening stages is carried out by dissolved air flotation (DAF) in order to control the loads of colloidal and anionic substances in process water and to maintain the fines and ashes at a controllable level in the process water loops. Sludge from the production line and from the flotation units is fed to sludge treatment. The coarse rejects separated in the production line are thickened in the reject system. Upgraded newsprint is usually manufactured in two-loop systems achieving about 63% ISO brightness (since reductive bleaching), low dirt counts (since flotation II), ash contents in the range of 10 - 12% (since flotation II) and a low amount of stickies (since additional slot screening). Compared to it, standard newsprint can be produced in one-loop systems i.e. without a secondary flotation stage. As a consequence, the brightness is lower (ca. 59 % ISO since no reductive bleaching), the amount of specks higher (since no sec. flotation) and the ash content is higher as well (in the range of 14 - 15% since no sec. flotation).

Recovered fibres are also used for lower grades of printing and writing paper manufacturing. These recycled grades are normally wood-containing and intended for office use as copy paper or stationary products. As a process system a similar flotation-based system as for upgraded newsprint as shown in Figure 5.3 can be utilised. As raw material a fairly constant proportion (50:50) of newsprint and magazines is used.

5.1.1.3 LWC/SC-Paper

When processing household recovered paper into DIP stock for higher grade wood-containing graphic papers such as SC and LWC grades exact requirements have to be achieved. This includes the need of a low level of disturbing components, high surface quality (i.e. free of shives and fibre bundles to ensure a smooth surface) and demanding optical requirements (e.g. brightness, cleanliness) of the finished product.

The furnish normally consists of recovered newsprint and magazines. SC papers are bulk printing papers produced on high speed machines. One of the main criteria for processing household recovered paper (deinking furnish) into bulk printing papers is constant quality. Therefore, the screening, cleaning and disperging stages are very important. Because of the high optical requirements concerning brightness and cleanliness a two-stage flotation and bleaching is necessary.
An overall plant concept could look similar to the one presented for improved newsprint as shown in Figure 5.3. In this stock preparation concept the problem of disturbing components (colloidal contaminants, anionic trash) which may disturb the sensitive retention mechanism on the paper machine is solved by an appropriate water circuit/water clarification design in stock preparation. The system has clearly distinctive water loops, the first of which is normally alkaline and extends from the pulper to the thickening stage prior to disperging. The second loop ends at the thickening stage prior to secondary bleaching. Thickening stages with strict water loop separation ensures the reduction of contaminants in process water. The separated loop concept is based on the principle that disturbing contaminants can not travel throughout the whole process water system. The anionic trash and colloidal contaminants containing filtrates from thickening are clarified by micro-flotation based on the flocculation and precipitation principle.
The necessary surface characteristics can be achieved by an additional refining stage for reduction of the large, long TMP fibres occurring in household recovered paper. Refining improves smoothness and printibility of the paper. The refiner can be placed after the reductive bleaching stage in a similar concept as shown in Figure 5.3.
If the ash content of the finished stock is permitted to exceed 8 - 10 % there is no need for a washer. The use of a washer leads to relatively high losses. Therefore, for economical reasons it is favourable if a washer could be avoided.

5.1.1.4 Tissue Paper and Market Pulp

When using recovered paper for the production of high quality tissue or market DIP, it must be processed in such a way that not only coarse contaminants, but also printing inks, stickies, fines and fillers have to be removed. This considerable reduction in ash and fines means about 30% - 100% more recovered paper is needed compared with the finished stock which means a relatively high amount of waste has to be handled and treated. There are examples (e.g. Niederbipp mill, Switzerland) where all rejects, including sludge, are incinerated on site, generating steam for mill consumer points, resulting in a reduction of residues to ash which is used as an aggregate in the building industry (cement). The major difference of these grades compared to newsprint mentioned above (5.1.1.2) is the requirement of deashing (removal of the fines and fillers) due to the requirements on PM runnability and softness and absorbency of the end product. As an example, depending on the grades of recovered paper used as raw material the ash content may vary between 15% and 38% (in case of coated woodfree papers). The direct impact of the ash content on the amount of solid waste generated during recovered paper processing should be considered when comparing figures on the amount of solid waste.

For most products as e.g. kitchen rolls or toilet paper the same raw material as for newsprint could be used i.e. a mixture of newsprint and magazines or in more general terms medium and high qualities of recovered paper. But if available for a reasonable price, predominantly wood-free furnish (office recovered paper) may be used.

Figure 5.4 shows a simplified diagram of the recovered paper preparation plant. Main features of the system are the following: a high consistency pulper with dumping system where coarse contaminants are held back by a perforated screen plate and immediately removed. The rejects are then post-treated in a perforated drum screen and finally thickened in a reject screw press. Accepts are treated in high consistency cleaners followed by low consistency cleaner as a second stage removing mainly metallic trash such as paper clips, staples, etc. The stock is further processed in multistage screening and cleaning system. As in all stock preparation plants for processing recovered paper the basic principle in pulping, cleaning and screening is to ensure early discharge of rejects and contaminants.

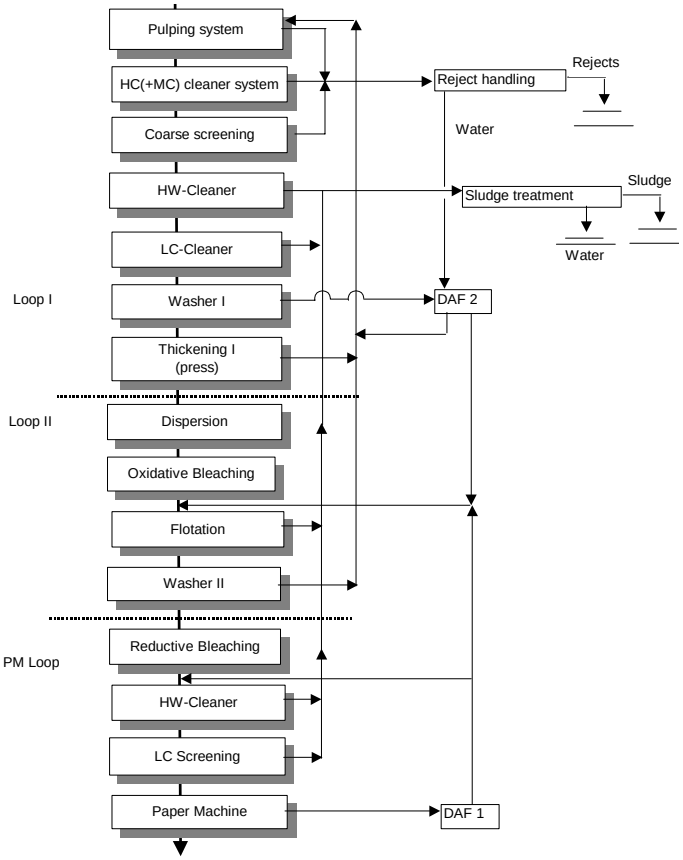


Figure 5.4: Example for an overall plant concept for a recovered paper preparation plant for tissue paper
HC = High Consistency; MC = Middle Consistency; LC = Low Consistency; HW = Heavy-Weight; DAF 1 + 2 = Dissolved Air Flotation 1 + 2

Washing is carried out in low pulp consistency and it involves efficient use and recirculation of washing water. The circulating water has to be cleaned and the washing water ink and other solids have to be removed by dissolved air flotation or other efficient water cleaning technology. Washing 1 serves for removal of ash, fines and fine ink particles and is followed by a wire press for thickening the stock to about 30 %. The washing filtrate is cleaned in flotation unit with the addition of cationic flocculants. Ash and fines are removed and the water is returned to the system. The stock is heated by means of a heating screw and treated in a disperger that separates any ink still adhering to the fibres and simultaneously mixes in the bleaching additives. The flotation stage removes the ink particles separated by disperging as well as dirt specks and stickies. Secondary bleaching may follow washing 2 and the stock is then sent either to the storage tower or a final screening and cleaning in the approach flow of the paper machine. The handling of rejects and sludge is a crucial point for RCF tissue mills

because of the relatively high amount of sludge from different sources (recovered paper preparation, DAF, tissue machine, biological wastewater treatment plant) with an organic carbon content of around 50.

Additional information on tissue manufactured from virgin fibres can be found in Chapter 6.

5.2 Present Consumption/Emission Levels of RCF Based Paper Mills

5.2.1 Overview of input/output

An overview of raw material and energy input and the output of products, residues for further utilisation and major releases (emissions, waste etc.) of RCF based paper mills is presented in Figure 5.5.

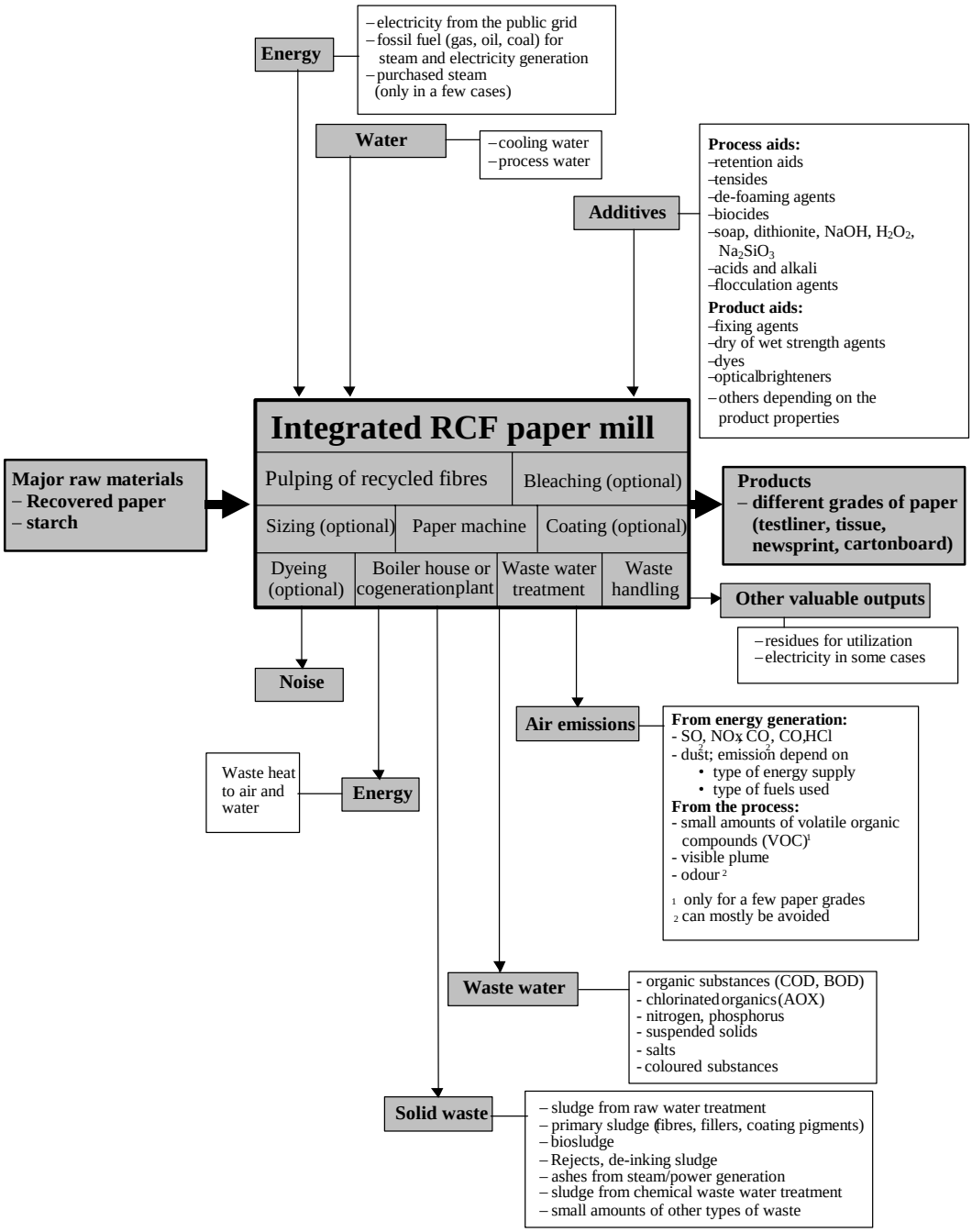


Figure 5.5: Mass stream overview of an integrated recovered paper processing mill
The presence of some of the substances depend mainly on the paper grade and paper properties to be achieved and the type of energy supply

As shown in figure the raw materials for RCF based paper production consists mainly of recovered paper, water as well as some chemical additives. Large quantities of water are used as process water and cooling water. As processing aids and to improve the product properties (paper auxiliaries) various additives are applied during paper manufacturing. The environmental impact of recovered paper processing comprises basically emissions to water, solid waste generation and atmospheric emissions mainly related to energy generation by combustion of fossil fuels in power plants. When abatement techniques are applied to reduce emissions, cross-media effects can occur. In this chapter the quantitative consumption and emission levels for the different main types of RCF processing mills are given. First of all, figures for overall input-/output levels for stock preparation and whole paper mills (considered as a black box) are presented followed by consumption and emission data for the main processes with environmental concern (Section 5.2.2).

Paper manufacturing in RCF based paper mills can be subdivided into three parts: stock preparation - approach flow/paper machine - and upgrading of manufactured paper. Stock preparation and paper machine are connected closely with each other over the process water system (see 5.2.2.2). Table 5.1 gives an overview on the major raw materials used and emissions during stock preparation of recovered papers for main paper grades being produced in Europe. The figures compiled in the table comprise exclusively the stock preparation i.e. the subsequent paper machine is not included. An exception had to be made for the water flows because water flows between stock preparation and paper machine are normally linked.

Consumption of raw material and emissions to water, waste	Packaging Paper	Newsprint	LWC/SC Paper	Tissue Paper and Market Pulp
Recovered paper quality (depends on availability and price of recovered paper and quality of the end product)	Sorted mixed paper and boards, recovered paper from stores	Deinkable recovered paper (50:50 newsprint and magazines	Deinkable recovered paper (50:50 news-print and magazines;	Deinkable recovered paper (50:50 news-print and magazines); wood-free office recovered paper
Energy consumption [1)] - Electricity - Thermal energy (e.g. steam)	 150-250 kWh/t 0 MJ/t	 300-420 kWh/t 450-900 MJ/t (=0.2-0.4 t_{steam}/t)	 400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0.3-0.5 t_{steam}/t)	 400-500 kWh/t 650-1100 MJ/t (=0.3-0.5 t_{steam}/t)
Chemicals [2)] - Repulping - Flotation I - Flotation II - Bleaching - Flocculants used for internal clarification of process water and sludge treatment [4)]	 Biocide ------- ------- ------- 0 kg/t (internal clarification in the paper machine loop (WW II)	 0.5-1.0% H_2O_2 0.5-1.0% NaOH 1-2% Na_2SiO_3 0.3-0.6% soap 0.2-0.4% soap (NaOH+fatty acids) 1-2% H_2O_2 0.5-1.2% NaOH 1 - 1.8% Na_2SiO_3 0.4 - 1% Dithionit up to 0.2% NaOH Flocculation auxiliary agents: 0.5-1 kg/t	 0.5-1.0% H_2O_2 0.5-1.2% NaOH 1-2% Na_2SiO_3 0.3-0.6% soap 0.2-0.4% soap (NaOH+fatty acids) 1-2.5 % H_2O_2 0.5-1.5 % NaOH 1-2 % Na_2SiO_3 0.4 - 1% Dithionit up to 0.2 % NaOH Floc. auxil. agents: 1.6-2.6 kg/t Flocculants.: 1.5 - 2.5kg/t	 0.0-1.0% H_2O_2 0.3-0.6% soap ------- 1-2 % H_2O_2 0.5-1.2 % NaOH 1-1.8 % Na_2SiO_3 0.4 - 1% Dithionit up to 0.2 % NaOH Floc. auxil. Agents: 1.8-2.8 kg/t
Water - Water flow [5)] - Emissions **before** biological wwtp	 0 - 4 m^3/t_{paper} TSS [3)]: usually below 200 mg/l COD: 27-36 kg/t (6750-9000 mg/l) AOX: < 4 g/t (= 1 mg/l)	 8 - 16 m^3/t_{paper} TSS [3)]: usually below 200 mg/l COD: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	 8 - 16 m^3/t_{paper} TSS [3)]: usually below 200 mg/l COD: 17-27 kg/t (1700-2700 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)	 8 - 16 m^3/t_{paper} TSS [3)]: usually below 200 mg/l COD: 26-35 kg/t (2600-3500 mg/l) AOX: < 10 g/t (= 1 mg/l)
Waste - solid wastes (dry basis) [6)] - organic content	 50-100 kg/t_{paper} 70-80%	 20% losses 170-190 kg/t_{paper} 35-45%	 35% losses 450-550 kg/t_{paper} 45-55%	 500-600 kg/t_{paper} 40-50%

Explanatory notes:

1) An essential factor for variations in energy consumption is the use of an disperger which consumes 60 - 100 kWh/t. Furthermore, the losses have to be considered: Processes with higher losses require machines with higher capacities and higher specific energy. The number of process stages in stock preparation/machines has also an influence.

2) All chemicals consumption is expressed as 100% effective chemicals and not as commercial solutions containing various amounts of water except for Na_2SiO_3 which is expressed as commercial solution. The ranges can be explained by differences in the quality of used recovered paper, inks to be removed and product quality to be achieved.

3) Usually there is a micro-flotation unit installed before discharging the effluents to the wastewater treatment. This results in a relief of the primary treatment or makes it possible to do without primary treatment. Without micro-flotation unit the TSS content depends on the facilities for de-watering of sludge and rejects.

4) The use of flocculants depends mainly on the number of micro-flotation units for process water clarification and on the amount of sludge to be de-watered. Water flows from washers are high and needs a relatively high amount of flocculants if to be treated

5) The data for water flow refer to the water used in the whole mill i.e. stock preparation + paper machine. The water flow means outgoing water from biological treatment and exclude sealing water

6) Including sludge from process water treatment (micro-flotation units)

Table 5.1: Consumption and emission levels for stock preparation of different paper grades produced

The data refer only to the stock preparation itself i.e. the subsequent paper machine is not covered by the data [data from operational experiences provided by a supplier]. An exception is made for water flow because concerning water consumption it is hard to separate stock preparation from the paper machine For further data that represent current practice of whole plants it is refered to Table 5.2 – 5.4

The overall consumption and emission levels of whole paper mills for the main paper types produced from recovered fibres are shown in Table 5.2 (testliner and wellenstoff), Table 5.3 (newsprint) and Table 5.4 (tissue) below.

One have to bear in mind that the actual values computed as an average value of measurements over a yearly period are different from the one that may be found in permits. Depending on the countries permitting systems, the latter refers usually to shorter periods of 2 hours, one day or one month to ensure practicable monitoring of compliance. This specific time period during which the monitoring values have to be met is set in the permit and varies within European countries (see 0, on existing national and international regulations). But, the actual measured data given in the Table 5.2 to Table 5.4 can give a good first guidance what environmental impact is related to a given installation.

In Table 5.2 weighted average data for testliner and wellenstoff are presented. The data are derived from the European Database for corrugated board which were compiled for life cycle studies (issue 1997), issued by FEFCO, Groupement Ondulé and Kraft Institute. The ranges of the parameters represented are based on corresponding paper mills in Denmark, France, Germany, Italy, the Netherlands, Spain and the UK. The data for the production of Testliner and Wellenstoff was collected from mills, which produce 52 % (5.2 M tonnes) of the total annual production of corrugated base papers from recovered paper in Europe. The data is given per tonne net saleable paper (nsp). It has to be emphasised that the weighted average figures documented do not represent figures of a specific mill with a given technology.

Weighted average in the framework of the FEFCO-study represents a so-called “Best Average Environmental Practice (BAEP)”. That means, when a certain technology is used by the majority of the participating mills, and this technology is expected to be used in more mills within the near future, the weighted average of the data of the mills using this technology has been calculated instead of the weighted average of all the mills. The environmental performance of these mills is than called BAEP.

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Recovered paper (delivered weight, including moisture)	1100	kg/t	Wellenstoff + testliner	1000	kg
Biocides, dry weight	0 - 0.12	kg/t	**Emissions**		
Colorants, dry weight	0.2 - 1.0 *	kg/t	$CO_{2,\ fossil}$	320** - 600	kg/t
Defoamers, dry weight	0.10 - 0.40	kg/t	$CO_{2,\ regenerative}$	0 - 15	kg/t
Retention agents, dry weight	0.3 - 2.4	kg/t	CO	n.a.	kg/t
Sizing agents, dry weight	0.1 - 3.0*	kg/t	NOx	0.4 - 1.1	kg/t
Starch, dry weight	20.0 - 50.0	kg/t	SO_2	n.a.	kg/t
Energy			Dust	n.a.	kg/t
Total fossil fuel	5700** - 9600	MJ/t			
Purchased electricity	2.8[1)] - 403	kWh/t	COD	0 - 2.2	kg/t
Primary energy, total ****	2140 - 3220	kWh/t	BOD_5	0 - 0.2	kg/t
			Suspended solids	0 - 0.5	kg/t
			AOX	n.a.	kg/t
			N_{total}	n.a.	kg/t
			P_{total}	n.a.	kg/t
			Evaporated water	1 – 2***	m^3/t
			Wastewater flow	0 - 11	m^3/t
Water demand			**Residues**		
Raw-/fresh water	1 - 13	m^3/t	Waste to landfill	30 - 70 (at 100% DS)	kg/t

Explanatory notes: n.a. = not available; b.d. = bone dry

1) The low value for purchased electricity refers to paper mills with large CHP plants.

* Given range only valid for testliner production

** Figures are only valid in the case of steam generation (which means no cogeneration)

*** Arithmetic difference between input and output of water

**** The contribution of purchased electricity to the specific primary energy consumption is calculated assuming an energy yield of the electricity generating companies of 36.75%, i.e. purchased electricity of 0.47 MWh/t corresponds to 1.28 MWh/t primary energy (1 kWh = 3.6 MJ). The lower end of the range for purchased electricity does not seem realistic. Therefore it an average electricity consumption of 200 kWh/t is assumed (or 555 kWh/t primary energy)

Table 5.2: Environmental data as yearly average values for testliner and wellenstoff
Figures refer to the situation in 1996 [FEFCO, 1997]. All data are given per tonne of net saleable product (nsp). The figures represent weighted average data ("best average environmental practice", see p. 232). Air emissions are referring to the generation of steam only

The recovered paper grades used for the production of Testliner and Wellenstoff comprise 93 % and 94 % respectively of grades according to category A of the European list of recovered paper grades, including mixed recovered paper grades, supermarket waste as well as new and used corrugated case material.

In total about 50 kg residues are generated by the papermaking process per tonne nsp. Related to the recovered paper input of 1.1 tonne/tonne net saleable paper, 45 kg residues per tonne of processed recovered paper (= 4.5 %) are treated by the mills. In the figures for the residues are included the ashes, the organic and inorganic sludges and all the rejects going to landfills as well as the incinerated organic sludges and residues. On average between 91 % (Testliner) and 95 % (Wellenstoff) of the residues are dumped on landfills. The weighted average amount of

incinerated residues seems to be small (3 % in Wellenstoff and 7 % in Testliner production). Mills equipped with boilers for the incineration of residue burn almost all their rejects with exception of pulper and high-density cleaner rejects. Between 0.9 and 3.6 kg of organic sludges/tonne net seleable product (nsp) are reused in the production process of Testliner and Wellenstoff.

The fossil fuel used is to 87 % natural gas in the production of Wellenstoff and 94 % for Testliner production. All mills produce steam for the drying of the paper in the paper machine, but not all mills produce electricity by themselves. In some cases electricity is purchased as grid power. The air-borne emissions mainly depend on the type of fuel used. In combination with a well adapted flue gas purification the most significant ecological impact results from the fossil CO_2 emissions (for further information refers to 5.2.2.7).

Water consumption for the production of Wellenstoff and Testliner ranges between 2 and 13 m³/tonne nsp. When papers are produced with a closed water system, the lowest water consumption corresponds to the amount of water evaporated during paper drying. The weighted average figures of the water consumption are almost identical for both paper grades at about 6.5 m³/tonne nsp. The average specific effluent ranges between 4.9 and 5.7 m³/tonne nsp. Some mills also operate with a totally closed water system and zero effluent.

The water-borne emissions are reported as the substances leaving the mills with the effluent after a final wastewater treatment. The levels of suspended solids, COD and BOD are low for the weighted average and approach zero for mills with a closed water system. The nitrogen and phosphorus content of the wastewater of RCF paper mills is very low. A controlled addition of nutrients to the biological wastewater treatment is necessary to provide nutrients for maintenance and growth of the micro-organisms. Assuming a controlled dosage to ensure optimal performance of the wastewater treatment system N_{tot} concentrations below 10 mg/l and P_{tot} concentrations below 2 mg/l are achievable (as daily average).

The values for RCF based newsprint and tissue mills presented in Table 5.3 and Table 5.4 may not reflect the whole range of variations in the use of raw materials and emissions that can be observed in paper mills in Europe. On the contrary, because of a scarcity of available data groups of mills standing for a typical (but not representative) situation have been compiled. Table 5.3 shows weighted average data for RCF based newsprint. The data are derived from 4 German paper mills manufacturing mainly newsprint from recovered papers (standard and high-grade newsprint, reference year: 1996). The four mills stand for 72% of the total production of newsprint in Germany i.e. 1.24 Mt/a newsprint and 73000 t/a DIP. A small amount of GWP, TMP and chemical pulp is included in these figures. 2 mills of the four uses only recovered paper as fibrous raw material. The values presented are considered typical for RCF based newsprint mills. The data is given per tonne of paper produced. The water-borne emissions are reported as the substances leaving the mills with the effluent after biological wastewater treatment.

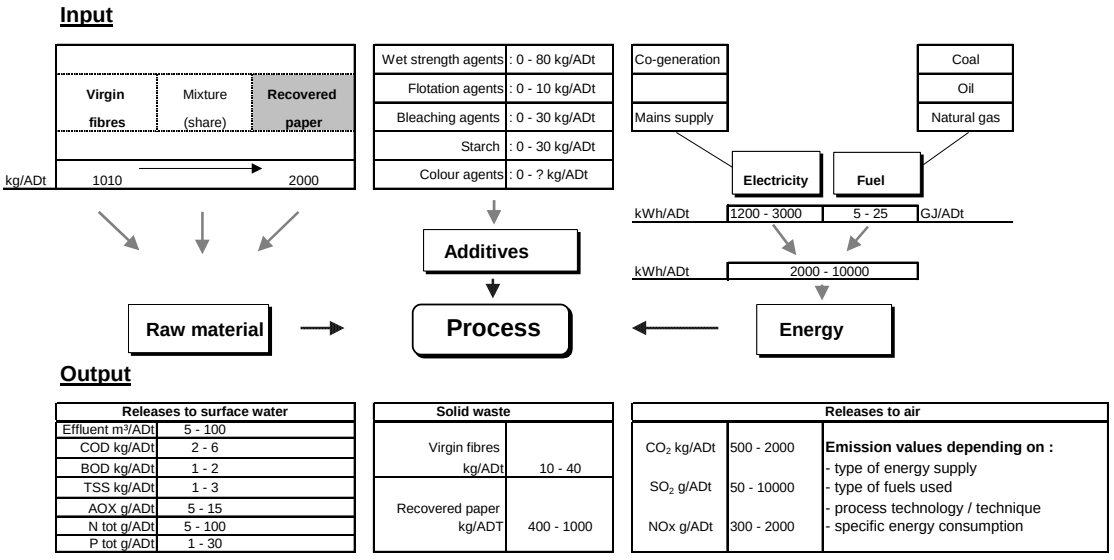
Input			Output		
Raw materials	**Value**(min-max)	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Recovered paper (9% moisture)	1120 (990-1270)	kg/t	Newsprint	1000	kg/t
Wood chips (55% moisture)	130 (0-330)	kg/t	market DIP (small amount)	5.9	kg/t
Roundwood	50 (0-230)	kg/t	**Emissions**	(min-max)	
Kraft pulp	10 (0-30)	kg/t	CO_2		kg/t
Pigments	30 (0-100)	kg/t	CO_2, regenerative		kg/t
Additives [1]	53.17 (40.61-60.99)	kg/t	Nox	0.72 (0.56 - 1.06)	kg/t
			CO	0.14 (0.02 - 0.56)	kg/t
Energy	(min-max)		SO_2	0.54 (0.01-2.68) [5]	kg/t
Natural gas	1720 (0 - 3490 [2])	kWh/t	Dust	0.010 (0.003-0.05)	kg/t
Fuel oil, light	40 (0 - 180)	kWh/t	COD	3.31 (2.47 - 4.45)	kg/t
Fuel oil, heavy	300 (0 - 1510)	kWh/t	BOD_5	0.12 (0.03 - 0.28)	kg/t
Regenerative fuels	510 (0 - 970)	kWh/t	Suspended solids	no data	kg/t
Hydro power	50 (0 - 110)	kWh/t	AOX	2 (1 - 3)	g/t
Purchased electricity	470 (-10 [2]- 710)	kWh/t	NH_4-N	20 (10 - 50)	g/t
Primary energy, total [3]	3880 (3630 - 3990)	kWh/t	Phosphate	5 (2 - 10)	g/t
			Wastewater flow	10.56 (7.7 - 14.97)	m^3/t
Water demand	(min-max)		**Residues**	(min-max)	
Surface water	19.34 [4]	m^3/t	Bark	5.6 (0 - 28.6)	kg/t
Ground water	0.61	m^3/t	Rejects, paper residues	100.2 (0 [6] -381.4)	kg/t
			Ash, from waste incineration [6]	90.8 (0 - 173.2)	kg/t
			Waste, total [6]	196.7 (91.8-410.7)	kg/t

1) Additives are process & product aids expressed as commercial solutions containing various amount of water
2) The maximum value of natural gas consumption refers to a mill with gas-turbine. A surplus of electricity is produced so that a small amount of power is delivered to the public grid (10 kWh/t).
3) The contribution of purchased electricity to the specific primary energy consumption is calculated assuming an energy yield of the electricity generating companies of 36.75%, i.e. purchased electricity of 0.47 MWh/t corresponds to 1.28 MWh/t primary energy (1 kWh = 3.6 MJ).
4) The water demand includes process and cooling water. Cooling water is partly used as process water
5) The maximum value is measured when fossil oil is used as main source of energy, the lower value when natural gas is used. All air emission data are derived from continuous monitoring data, yearly average
6) Minimum value (no rejects) are found when rejects and sludge is burned on-site. The amount of ash generated as a product of incineration is zero when no incinerator is operating and high when higher amounts of additional fuels are burned. If on-site incineration is applied the remaining waste is mainly ash (min.). Otherwise the untreated waste stands for the maximum value.

Table 5.3: Yearly average consumption and emission levels from RCF based paper mills manufacturing mainly newsprint (standard and high-grade newsprint)

Tissue mills are characterised by manufacturing a big variety of products. Many tissue machines make frequent grade changes for different products reducing somewhat efficiency of water, energy and raw material use. Converting into finished product is often integrated with tissue production. Tissue mills need relatively high fresh water use on showers because the cleanliness of wires and felts is critical to the very light-weight sheet formation (down to 12 g/m^2). Concerning fibrous raw material used there are both tissue mills based on 100 % virgin fibres and those using 100 % recovered fibres (for information on tissue mills made from virgin fibres it is referred to Chapter 6 of this document). In between there are all types of mixtures of fibres using 10 %, 20 % and so on up to 90 % recovered fibres. The influence of raw materials on the whole environmental performance of a mill significant mainly related to the high sludge volumes generated during wash de-inking (removal of all fillers from recovered paper). The

differences in emissions to water are not significant assuming proper effluent biological wastewater treatment. The environmental performance of the whole mill is influenced by other factors as chemicals used, type of fuel used and energy generation and process lay out.



Releases to surface water	
Effluent m³/ADt	5 - 100
COD kg/ADt	2 - 6
BOD kg/ADt	1 - 2
TSS kg/ADt	1 - 3
AOX g/ADt	5 - 15
N tot g/ADt	5 - 100
P tot g/ADt	1 - 30

Solid waste	
Virgin fibres kg/ADt	10 - 40
Recovered paper kg/ADT	400 - 1000

Releases to air		
CO_2 kg/ADt	500 - 2000	**Emission values depending on :** - type of energy supply
SO_2 g/ADt	50 - 10000	- type of fuels used
NOx g/ADt	300 - 2000	- process technology / technique - specific energy consumption

Table 5.4: Typical yearly average consumption and emission levels for the manufacturing of tissue [Data from ETS, 1998, because of a lack of data, releases to water could not be distinguished to wastewater from RCF based tissue mills and those using virgin fibres]

Although in Europe nearly all RCF based mills are integrated - except two mills producing de-inked market pulp - it has to be noticed that integrated RCF based mills are often only partly integrated i.e. part of the fibrous materials may be purchased pulp. Often paper mills manufacture paper products consisting of a mixture of different fibre types.

The raw material consumption and releases to environment of recovered paper processing are discussed one by one in the next paragraph.

5.2.2 Consumption and emission levels arising from process units

The following aspects associated with paper manufacturing based on recovered fibre processing are of concern:

- Recovered paper consumption
- Water use
- Use of additives
- Energy demand
- Wastewater emissions
- Solid waste generation from stock preparation, process water clarification and wastewater treatment
- Air emission from energy generation
- Air emissions from sludge and residue incineration (optional)
- Noise from paper machines (local)
- Odour from vapours and from wastewater treatment plant (local)

As for the reported emission and consumption figures, it should be borne in mind that, due to the use of some different measurement methods in the various Member States, data are not

always strictly comparable from country to country. (See Annex III for more information on this issue but the different methods used do not alter the conclusions drawn in this document).

5.2.2.1 Recovered paper consumption

For the manufacturing of different types of papers as "brown" packaging papers" or "white" graphic papers different amounts and qualities of secondary fibres are used. For the production of one tonne of paper between 1100 kg (for corrugated medium) and 2000 kg (for tissue and market DIP) recovered paper is used. Lower types of recovered paper are commonly used as raw materials for products with lower requirements, while better grades are used for products with higher requirements.

There are many different types of recovered paper traded in the European market which are generally classified according to origin, quality and usage. The classification varies from country to country. According to the list of European standard qualities of recovered paper recovered paper is roughly classified into four groups, corresponding to ordinary, medium, high and kraft qualities [EN 643, 1994] which are further sub-classified. Lower grade recovered paper contains more impurities and must be cleaned more intensively to fulfil the product requirements compared to higher grade recovered paper. Higher grades are mainly used for processing of graphic papers and tissue and there are two disadvantages in it: Higher grades are usually more expensive and they may not continuously be available in sufficient quantities. Since uniformity is important for pulp furnishes, the quantitative and qualitative variations of impurities and contaminants should be as small as possible. Thus, the collection methods and the segregation of the recovered paper at an early stage may be more important than the technical efforts to develop new processes for secondary fibre production. Besides the collection method the origin of the secondary fibres has an important influence on the quality of the furnish. Different types of recovered paper may be distinguished: "collected wastepaper" from houses and markets such as corrugated containers, newspapers and magazines, "industrial recovered paper" as cuttings, brokes and over-issued papers generated in printing, paper-container manufacture and book binding mills and "semi-industrial recovered paper" occurring in supermarkets, department stores and large offices.

It is expected that the percentage of impurities in recovered paper will increase because of the continuous increase of recycling of waste paper. This effect will be enhanced by intensified use of fillers in the paper production. Overall it is expected that the amount of impurities in recovered paper will increase, which in turn will lead to increasing cleaning and bleaching steps. It will also lead to increasing solid wastes at RCF paper mills.

5.2.2.2 Water use

Paper and board mills commonly use large quantities of water. On the other hand, in most paper mills a large amount of water is recycled and thus the specific water volume used for manufacturing of RCF paper has decreased during the last twenty years. In Europe, both groundwater and surface water is used. Depending on the paper grade the water must be pre-treated in order to fulfil the requirements set for process water. If necessary, iron, manganese and sometimes algae and turbidity has to be removed by means of flocculation, complexation and/or sand filtration. Water has various basic applications in the paper industry as process water, cooling water and boiler feed water (for further details see Section 6.1.3, water circuits and fibre recovery). As shown in Figure 5.6 process water is extensively recycled in the production process.

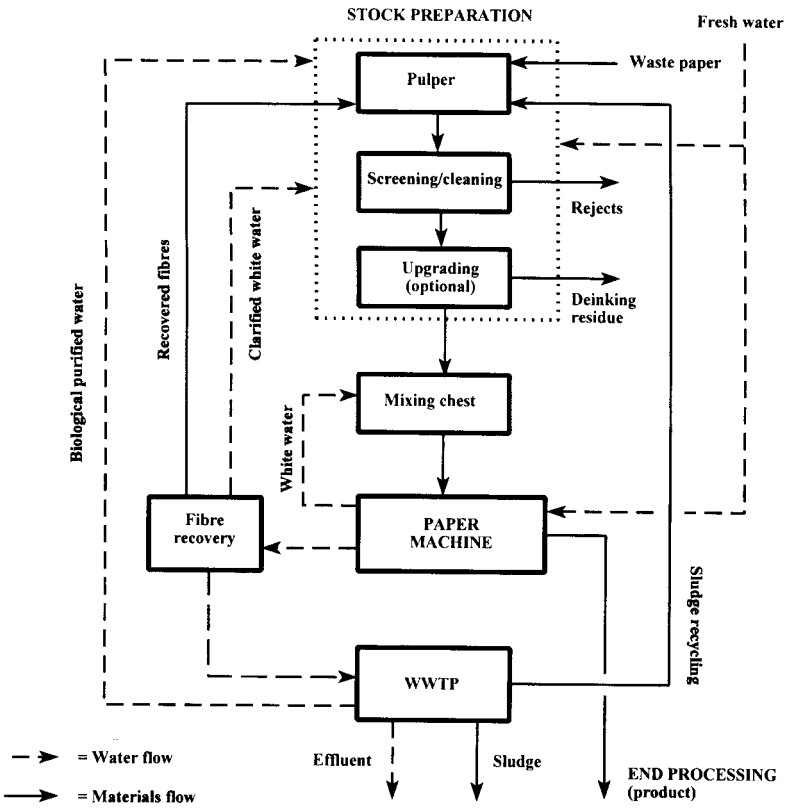


Figure 5.6: Basic flow chart of the recovered paper processing paper and board production [Dutch Note on BAT, 1996]; WWTP = Wastewater Treatment Plant

All paper and board mills recycle drainage water of the wire section (white water). White water is recycled untreated as diluent to the mixing chest (short circuit) or it is reused after clarification in the fibre recovery unit at specific locations in the process where higher water quality requirements are to be met. Excess flow from the fibre recovery unit the stock preparation is discharged to keep the water balance and to purge unwanted substances that should not enter the approach flow of the paper machine. The possible rate of recycling depends on the quality requirements of production and on the quality of the treated process/wastewater. Besides, the quality of process design of the water circuits strongly influences the limit of reuse without disadvantages for production and product quality. In Figure 5.7 and Figure 6.10 examples of possible stock-water systems for integrated RCF based mills for brown and white paper grades are given.

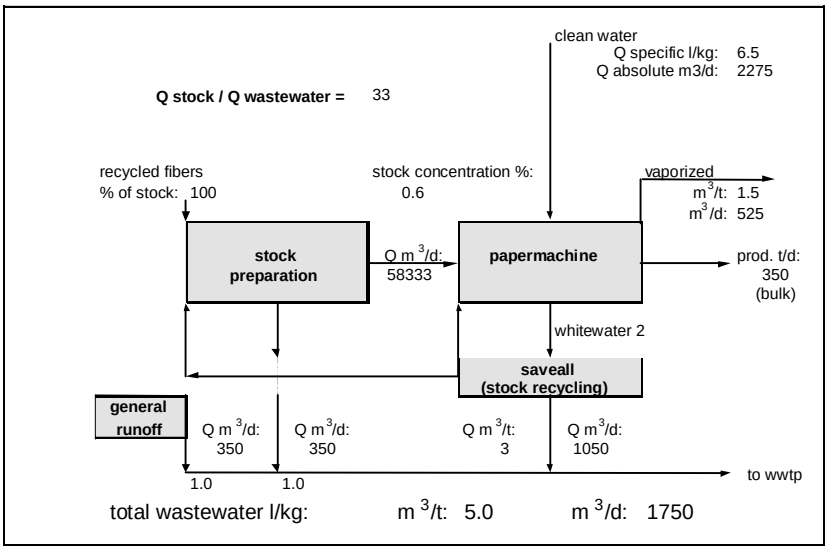


Figure 5.7: Example of water circuits for an integrated RCF mill for corrugated medium without de-inking (100% recovered paper)
[Provided by Möbius]

The example for a rather closed circuit in the production of non-deinked paper from recovered fibres shows that fresh water is only used at the paper machine side (and for the preparation of additives). The white water is recycled back to the stock preparation and used for slushing of the recovered paper and different steps of mechanical cleaning of the pulp. A partial stream is discharged to the wastewater treatment plant (wwtp). About 1.5 m^3/t of paper is vaporised in the dryer section of the paper machine. Statistically in the example of Figure 5.7 the water is used 33 times in the process.

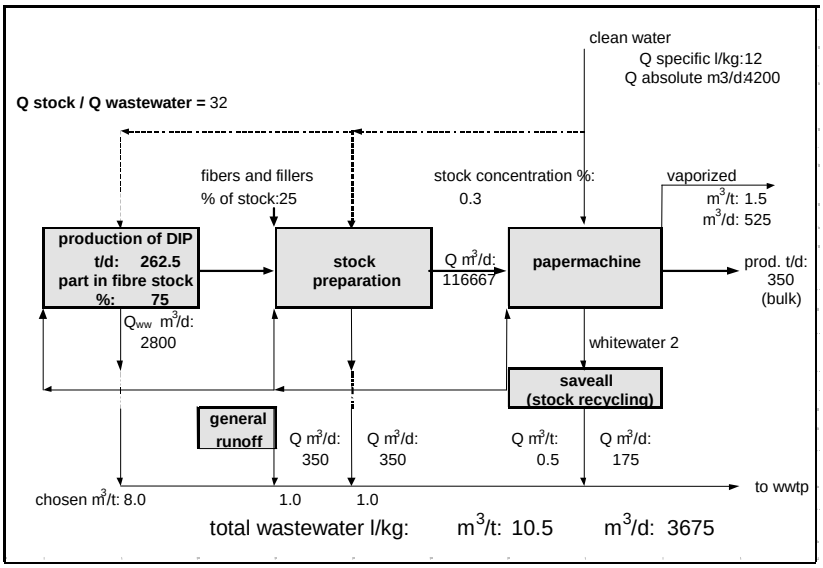


Figure 5.8: Example of an optimised stock-water-system for an integrated production of de-inked pulp
[Moebius, 1994; original version corrected by the author]

In Figure 5.8 an example of a rather closed water circuit in integrated production of paper with a high content of de-inked pulp (DIP) is shown. Process water flows counter current to the materials flow i.e. white water is recycled to the de-inking plant and the stock preparation.

Excess flows from different part of the mill are discharged in order to protect the approach flow of the paper machine - where higher water quality is required - from disturbing substances and to balance the amount of water used in the system. At the paper machine clean water is used to ensure the high water quality requirements at this part of the paper manufacturing process. The ratio between the fibre suspension fed to the paper machine and the discharged wastewater is 32 : 1, i.e. water is used 32 times within the circuit. To avoid drawbacks of the water re-use the whole fibre-water-additive-system of the mill has to be analysed and optimised. In some mills (partial) removal of impurities inside the process to a desired level is applied in order to fulfil the process water quality requirements set for a specific paper grade or process unit. The partial removal of impurities is often referred to as a "kidney" treatment.

Table 5.5 summarises the specific water consumption of different recovered paper processing mills.

Process	Specific Water Consumption [m^3/t]*
Uncoated folding boxboard	2 - 10
Coated folding boxboard	7 - 15
Corrugated medium & Packaging paper	1.5 - 10
Newsprint	10 - 20
Tissue	5 - 100
Writing and printing paper	7 -20
Notes: * It has to be noted that about 1.5 m^3 water per tonne of paper is vaporised in the dryer section of the paper machine i.e. do not appear as wastewater	

Table 5.5: Typical water consumption in RCF based paper and board production

5.2.2.3 Use of additives

To improve the product properties various additives are applied in the paper and board industry. The amount and types of additives vary with the paper grade and the installed equipment. The additives applied by the paper industry can be classified into product aids which are applied to optimise the specific properties of the paper according to the customers requirements and process aids. The latter facilitate the operation of paper processing in order to enhance the runnability of the process. Examples of the main additives and their application are given in Table 5.6. If the additives are used as directed they should not cause significant negative impacts on the efficiency of the wastewater treatment plant. Sudden changes in loads because of system cleaning or batch-wise additive adjustments to fulfill product requirements, might have a negative impact on the performance of the waste water treatment plant. Then, the biomass may need a certain period for adapting to the additives appearing in the effluents. During this limited time period the efficiency of the treatment plant may be reduced and the settling of the sludge may be possibly deteriorated (increase of the sludge volume index). Therefore, additives should be handled carefully, cautiously and as directed. This is how the remarks in the right column of Table 5.6 should be interpreted.

Product aids	Purpose	Examples	Remarks
Fillers	- Improve printability properties, opacity and brightness and smoothness and gloss - Replace (saving) fibres	Kaolin or clay, talc, lime, gypsum, titanium dioxide	
Sizing agents	- Improve surface quality - Make paper hydrophobic	Modified starch, modified natural resins, wax emulsions, synthetic products like alkyl ketene dimers and maleic acid anhydride copolymers	Some may be toxic to bacteria when they are cationic
Fixing agents	- Improve adsorption of additives to fibres	Alum [$Al_2(SO4)_3$]	Mostly cationic products which may be toxic to bacteria
Dry strength agents	- Improve strength properties in dry conditions	Modified starch	Some may be toxic to bacteria when they are cationic
Wet strength agents	- Improve strength properties in wet conditions	Urea formaldehyde polymer, melamine-formaldehyde polymer, epichlorohydrincondensates	Usually toxic to bacteria, some increase the AOX
Dyes	- Give paper a certain colour and/or brightness	Azo compounds, quarternary ammonium compounds	Difficult to eliminate; some are toxic; may contain heavy metals
Optical brigtheners	- Give paper a white impression	Chemicals based on 4,4-diamino stilbene-2,2-disulfonic acid	Some cationic substances may be toxic
Coating chemicals	- Give paper certain surface properties	Pigments, binders, wet strength agents, dispersion and lubrication agents, Defoaming agents, Slimicides	Binders must be destabilised before mixing with other ww, otherwise they may disturb the clarification
Process aids	**Purpose**	**Examples**	**Remarks**
Retention aids	- Retention of fibres, fines and fillers - Increase production by improving dewatering - Decrease emission of pollutants	Alum, sodium aluminate, polyaluminiumchloride, starch products, gums, anionic polyacrylamides, nonionic polyacrylamides, cationic polymers	Mostly cationic products
Deinking and bleaching chemicals	- Release ink from fibres - Bleaching - Keep ink particles in dispersion	NaOH, Fatty acids, H_2O_2, hydrosulphite, FAS, complexing agents, sodium silicate, tensides	Sludge settling in final clarifiers may be hindered
Complexing agents	- Removing metal ions by forming metallic complexes to prevent decomposition of bleaching chemicals	DTPA or EDTA	Hardly or not biologically degradable
Tensides	- Cleaning of felts, wires and machinery - Cleaning of water circuit system - Dispersions of substances	Acidic and alkalic surfactants	May cause floating sludge
Defoaming agents	- Prevention and destroying of foam	Fatty acids ethoxylates, poly-oxi-ethylene, fatty acid derivates, higher alcohols, phosphoric acid esters, vegetable oil products	May lower the oxygen input in wwtp
Biocides (Slimicides)	- Prevention growth of micro-organisms	Organic bromine, sulphur or nitrogen compounds, quarternary ammonium compounds	Some contain AOX, they are toxic when reaching the wwtp in higher concentrations

Table 5.6: Main process and product aids and their application in the paper industry
Basic chemicals for the papermaking industry as e.g. acids and bases are not covered. The remarks relate to the substance as such neglecting that they are usually highly diluted and to a certain extent retained in the paper (further details are compiled in ANNEX I)
[Dutch notes on BAT, 1996; modified by EIPPCB]

Substances used for de-inking are shown in Table 5.7. De-inking chemicals have little retention to cellulose and can be expected to be present in the de-inking sludge that is landfilled or incinerated.

Chemical	Use [kg/t of de-inked stock]
Sodium hydroxide	10 - 20
Sodium silicate	20 - 30
Soap	5 - 8
Talc	10 - 15
Hydrogen peroxide	5 - 25
Chelating agent (DTPA) 1)	2 - 3
Sodium dithionite	6 - 10
Sulphuric acid	8 - 10

Table 5.7: Typical chemical doses in the de-inking process including bleaching [Finnish BAT Report, 1997]. 1) Usually there is no need for the use of chelating agents in recovered paper processing/bleaching unless there are excessive concentrations of Fe and Mn-ions[6]

Additives are often not completely used up during the process or not completely retained on the paper sheets especially as far as process aids are concerned. A certain amount is discharged via wastewater. Excess additives are also leaving the system via rejects and sludge (refer to 6.2.1.3). Some of these additives can have a negative influence on the practical functioning of the wastewater treatment plant and/or the quality of the receiving water in case that they are not degraded or eliminated in the wastewater treatment plant. In some Member States Water Quality Authorities require insight in the quantities and nature of the applied additives. In the Netherlands, for example, companies have to submit relevant information on the nature and composition of the additive. This information is then used in an assessment methodology [RIZA, 1998] which determines the impact of additives to the aquatic environment. Additives may only be applied if they have passed the assessment methodology with a positive score or are retained by a suitable technique..

5.2.2.4 Energy demand

Paper and board mills require substantial amounts of steam for heating of water, pulp, air and chemicals to the demanded process temperature and above all for drying the paper. Besides, large quantities of electricity are required for driving the machinery, pumping, vacuum, ventilation and wastewater treatment. In paper mills energy is usually the main factor in operating costs. Because the secondary fibres have already passed through stock-preparation equipment when the original paper was made, RCF pulping require comparatively less total energy for processing then is needed for chemical and especially for mechanical pulping. For example, in the Netherlands for recovered paper processing an average specific electricity consumption of 322 kWh/t (neglecting the difference in specific electricity consumption between RCF processing with and without deinking) have been reported. The total specific energy consumption[7] amounts to 10.9 GJ/t/t for non-deinking mills and 12.1 GJ/t/t for paper mills with deinking [Dutch note on BAT, 1996].

[6] C. Pauli, R.Patt, V.Gehr, O.Kordsachia, On the effects of additives in a peroxide supported alkali/oxygen bleaching stage of waste paper and mechanical pulp (in German), WfP, No. 20, 1993, p. 852-857.

[7] For calculation of the total specific energy consumption it has to be considered 1 kWh=3.6 MJ. Purchased energy is generated by electricity companies with an energy yield of about 38.1%. Therefore, the contribution of purchased electricity to the specific energy consumption have to be calculated as follows: 1 kWh = 3.6/0.381 = 9.45 MJ.

In RCF mills steam is normally produced internally by each company. Electricity can, if necessary, be purchased from the public grid. Paper mills commonly have a balanced need for steam and electricity that makes it obvious to apply co-generated heat and power installations (CHP). CHP supplies these energy needs by simultaneous generation of power and useful heat (steam) and has a considerably higher total yield (80-95%) compared with "separate generation" i.e. generating heat and purchasing electricity (the latter with a yield of about 40%). The CHP of paper mills sometimes produce more electricity then actually needed on the basis of the heat demand. This excess electricity may be supplied to the public grid.

In Table 5.8 below some detailed figures on energy consumption required for the stock preparation of recovered paper used for tissue and newsprint are compiled. All data are related to modern equipment and stock preparation concepts designed for high quality systems. The values stand for real examples of recently build stock preparation concepts. Normally, the process concepts chosen vary from mill to mill to a certain extent. However, the major building blocks of the systems are required by each RCF processing mill. In so far they can give an indication on the range of energy demand that can be expected for these types of RCF paper mills.

When figures on energy consumption are compared the following aspects should be kept in mind:

- The yield of the process varies mainly according to the raw material
- The country and the area where waste is collected affects significantly the raw material quality
- Because of bad recovered paper quality some mills may have to take additional efforts in the stock preparation
- Usually, when energy consumption is discussed, only main equipments are included i.e. pumps and agitators are not part of the system considered. These „passive“ process components do not improve pulp quality but are nevertheless relevant in terms of electricity demand.
- The contribution of pumps and agitators to the total installed power may vary from 20 up to 30%. From the energy point of view process concepts that decrease the amount of pumps are therefore important. In the example for RCF newsprint in Table 5.8 the share of pumps to the total energy demand is 30 %.
- Peripheral sub-systems for water, sludge and rejects such as DAF, reject screw presses, or sludge presses are also not included because they are are not considered as main equipment. Their energy demand has to be added to the figures.
- There is a difference between *installed* power (main equipment) and average power demand that is actually *used*. As a rule of thumb, the true consumed power is 70 - 75 % of the installed power. This ratio varies according to the process stage and equipment supplier.

	Tissue DIP-line (200 t/d)	Newsprint DIP-line (1000/d)
Raw material	Old magazines,/mixed office waste	Old newsprint/old magazines
Yield	55 - 60%	80%
Total specific power (estimated)	230 kWh/t of DIP pulp [1)]	300 kWh/t of DIP pulp [2)]
Total specific low pressure steam	0.3 t steam/t of DIP pulp	0.3 t steam/t of DIP pulp
Specific energy demand for major unit processes		
Feed conveyor	1 kWh/t of DIP pulp	0.4 kWh/t
High Consistency Pulping[1)]	39 kWh/t of DIP pulp (CHD pulping incl coarse screening)	16 kWh/t (drum pulper)
Coarse Screening	Not required	18.5 kWh/t
MC-Cleaner	Pumping energy	Pumping energy
Sand removal (cleaner)	Pumping energy	Pumping energy
Fine screening	17 kWh/t of DIP pulp	22 kWh/t
Flotation I	18 kWh/t of DIP pulp	33 kWh/t
Washing I	8 kWh/t of DIP pulp	No washing
Disc filter (thickening)	not required	1 kWh/t
Dispersion (incl. Thickener)	55 kWh/t of DIP pulp [2]	67 kWh/t [2]
Dissolved Air Flotation	no data (difficult to calculate in kWh/t DIP pulp)	no data (difficult to calculate in kWh/t DIP pulp)
Flotation II	5 kWh/t of DIP pulp	19 kWh/t
Washing II	10 kWh/t of DIP pulp	No washing
Sludge Press	no data (not main equipment)	no data (not main equipment)
All pumps	not included [3)]	91 kWh/t [4)]

Explanatory notes:
Normally the values are presented as installed KW. When specifc energy consumption is derived from these figures an approximation to the real situation has to be made.

1) CHD pulping = Continuous High Density pulping. In many mills standard batch HD is applied (higher energy demand)
2) These values are representing rather figures below average. For the best qualities a consumption of up to 70 – 80 kWh/t is not uncommon in some mills. Normally for thickening and dispersion an electricity demand between 85 – 90 kWh/t is reported (see figures further below).
3) For the tissue stock preparation equipment no pumps and agitators are included
4) Apart from the pumps for the flotation system all pumps and agitators are included

Table 5.8: Real world examples for the energy consumption in the production of tissue and newsprint from recovered paper [data from Valmet]
Modern equipment is applied. Note that the energy consumption depends on the raw materials used, the stock preration lay out, the installed equipment, and the product properties to be achieved (for other, more typical examples it is referred to Table 5.1 and this section further below). The figures include the stock praparation only and not the paper machine. For the latter refer to Section 6.2.2.4

For further detailed figures on the specific energy demand of unit processes in the stock preparation plant for the processing of recovered paper without de-inking (2-pli testliner) it is referred to Section 5.3.7.

In Table 5.9 and Table 5.10 for a newsprint mill based on 100 % recycled fibres figures are given for the energy consumption and energy balance. The energy consumption is divided into heat and electric power. The example refers to a Swedish mill with a production capacity of 500000 t/a newsprint.

Department	Process heat [MJ/Adt]	Electric power [kWh/Adt]
Pulp mill		
Deinking	200	175
Washing and screening	0	50
Bleaching	0	75
Total pulp mill	**200**	**300**
Stock preparation	0	235
Paper machine	5300	350
Total paper mill	**5300**	**585**
Effluent treatment	**0**	**32**
Specific energy consumption per t/paper	**5500**	**917**

Table 5.9: Energy consumption in an integrated Swedish mill with a production capacity of 500000 t/a of newsprint from deinked pulp
Base year: 1995 [SEPA Report 4712-4, 1997]

In Table 5.10 for the same mill figures for the energy balances are presented.

Department	Heat [MJ/Adt]	Electric power [kWh/Adt]
Pulp mill		
Turbine generator	0	0
External supply	+ 200	+ 332
Consumption	- 200	- 300
Effluent treatment	0	- 32
Excess energy from pulp mill	**0**	**0**
Paper mill		
Consumption	- 5300	- 585
External supply	+ 5300	+ 585
Total external supply	**5500**	**917**

Table 5.10: Energy balances of two integrated RCF newsprint mills with a production capacity of 500000 t/a and 250000 t/a respectively
Base year: 1995 [SEPA Report 4712-4, 1997]

In principle, energy consumption in recovered fibre processing depends on the design, type and amount of the process steps involved to achieve a certain product quality. Especially the increase of brightness and decrease of specks is linked to increasing energy input. For example, a German newsprint mill with a capacity for processing of 1900 tonnes recovered paper per day reported a significant increasing energy demand by putting into operation a peroxide bleaching step with disperger and an additional secondary flotation for the manufacturing of upgraded newsprint instead of standard grades. Whereas standard de-inked stock consumes about 350 kWh/t and 250 t steam per day bleached high-grade de-inked pulp requires 420 kWh/t. It have to be taken into account that purchased electricity is often generated by electricity companies

with an energy yield of about 38 %. Therefore, to generate the required purchased electricity for recovered paper processing (i.e. 0.35 - 0.45 kWh/kg DIP) a primary energy consumption between 1 and 1.3 kWh/kg DIP is required.

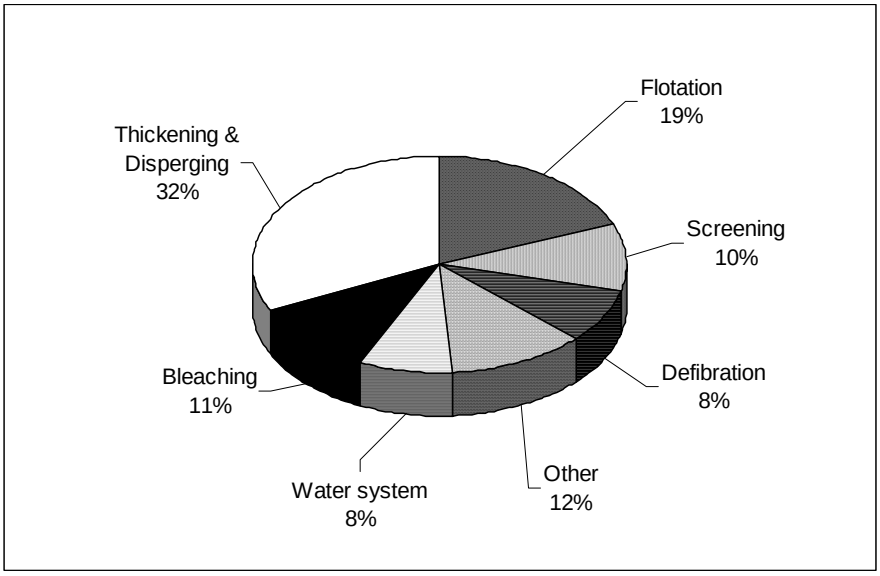


Figure 5.9: Specific energy consumption for recovered paper processing of a newsprint mill [Merkel, 1997]. Flotation includes two stages; screening includes pre- and secondary screening; "others" includes ventilation, the dryer for a part of the DIP-stock, water clarification systems etc.; water system does not include water clarification; bleaching is conducted in a disperger

The figure on energy consumption of the single process stages shows that about one third is consumed by thickening and disperging. For repulping installations the following ranges have been reported: conventional pulper 25 - 80 kWh/t, drum pulper 15 - 20 kWh/t, secondary pulper 15 -40 kWh/t [all figures: UBA, 19/1994]. Thickening before disperging consumes about 30 kWh/t. Heating the furnish up to 90°C and operating the disperger require about 60-100 kWh/t. Flotation needs about 27-33 kWh/t. The energy consumption for flotation depends on the amount of flotation cells, the design of the pipings in the mill and the types of air injectors applied. Wire presses and screw presses for de-watering require about 10 kWh/t.

5.2.2.5 Wastewater emissions

Emissions from paper industry to wastewater in particular - but also energy demand and waste generation - are closely related to the requirements set for the paper grades, the quality of the raw materials (recovered paper) and applied abatement techniques. Additives used, internal process management, housekeeping and the technical status of the installation have also an effect on the emissions levels achieved.

Wastewater from a RCF paper mill is mainly generated during cleaning steps. It is common practice to withdraw wastewater at locations where the process water is mostly polluted. However, the location of wastewater generation varies from mill to mill. The process water is mainly contaminated during cleaning, deinking and fibre recovery. Therefore, wastewater from RCF based paper mills consists of

- Water from reject separation by screens and centrifugal cleaners
- Filtrates from washers, thickeners and sludge handling
- Excess white water depending on the rate of recycling

Wastewater of the European paper and board industry is to a great extent discharged directly to the surface water after primary and biological treatment at the site or is discharged to a municipal sewage treatment plant after primary clarification for suspended solids removal. In Table 5.11 and Table 5.12 average water emission data after exclusively primary treatment from RCF based paper mills discharging to municipal wastewater treatment plant and those with on-site biological treatment are compiled.

Parameter	Without deinking		Deinking mills	
	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)
BOD_5 [1)]	1900	4.7	550	10
COD	3800 (570 - 9000)	9.4 (1.2-24)	1100 (440 - 1900)	20 (7 - 40)
Kj-N [2)]	16 (10 - 40)	0.05 (0.02 - 0.1)	20 (13 - 25)	0.35 (0.19-0.62)
Discharge volume		5.5 (0.4-15.5) m^3/t		15 (9 - 39) m^3/t

Notes:
1) The BOD5 value is estimated assuming that COD = 2* BOD5 [Dutch note on BAT, 1996].
2) Kjeldahl Nitrogen is the sum of organic and ammoniac nitrogen. Part of the organic N may be hydrolysed during effluent treatment, ammonium-N is a potential nutrient for the biomass of the treatment plant.

Table 5.11: Average water emission for RCF mills after primary treatment and before discharge to a sewage treatment plant
The data have been measured by competent water authorities and self-control measurements of the companies in 1994/95. [Dutch notes on BAT, 1996]

Parameter	Without deinking		Deinking mills	
	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)	mg/l (min-max)	kg/t (min-max)
BOD_5 before treatment *	1800	12.3	770	8.3
BOD_5 after treatment	10 (3 - 28)	0.06 (0.01 - 0.13)	9	0.09
COD before treatment *	3200	22	1900	21
COD after treatment	150 (60 - 270)	0.77 (0.29 - 1.12)	290	3.1
Kj-N [1)]	5.6 (3 - 13)	0.03 (0.01 - 0.04)	7.8	0.08
P_{tot}	1.5 (0.5 - 1.8)	0.01	n.a	n.a.
TSS	25 (17 - 40)	0.13 (0.06 - 0.21)	n.a.	n.a.
Discharge volume		5.7 (3.1-11) m^3/t		11 m^3/t

Notes:
* Influent data on BOD_5 were not available. Therefore, the influent data are calculated based on wastewater loading data of one mill without deinking and one mill with deinking. [Dutch note on BAT, 1996].
1) Kjeldahl-N after effluent treatment gives only an indication of the amount of organic N in the effluent and does not cover the total N-load that includes the oxidised N-compounds nitrates and nitrites.

Table 5.12: Average water emission for RCF mills discharging to water bodies after primary and biological treatment at the site.
The data has been measured by competent water authorities and self-control measurements of the companies in 1994/95. [Dutch notes on BAT, 1996]

Chemical Oxygen Demand

COD emissions originate from both raw materials and additives. Deinking and bleaching processes releases a substantial part of the COD from the recovered paper. COD emissions data

of paper mills with sewer discharge show large variations depending on the stage of processing during measurement. The removal and equalisation of COD is carried out at the municipal sewerage treatment plant. COD emission data of paper and board mills equipped with a biological wastewater treatment at the site show little variation. The variations shown in Table 5.12 are caused by mills whose wastewater treatment plant (WWTP) is not operating well. These mills are considering an upgrading of their WWTP. Deinking processing results in higher COD emissions than emissions caused by processing without deinking. In the latter case, much of the COD is retained in the product.

BOD_5

BOD_5 emissions data after biological treatment show no significant difference between recovered paper processing with and without deinking. In properly working treatment plants the concentration of BOD_5 after treatment is below 20 mg/l independent of the concentration of the inflow. After biological treatment BOD_5 emissions of 0.01 - 0.13 kg/t paper and board have been reported [Dutch note on BAT, 1996]. The differences in the specific BOD-load is mainly caused by differences in the water flow. The ratio BOD_5 : COD of paper mill effluents after primary treatment of about 0.5 indicates that paper mill effluent is easily biodegradable.

Nutrients

Wastewater treatment plant effluents mostly contain low concentrations of nutrients in the form of nitrogen and phosphate. The presence of these compounds is mainly caused by the necessary addition of these nutrients for effective operation of the biological treatment plant that needs a nutrient supply in the range of BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1. Organic bounded Nitrogen compounds may also originate from some additives. During biological treatment part of it may be hydrolysed to ammonium - others not - and transformed to nitrate compounds.

Total Suspended Solids

TSS data after treatment show only little variation. The upper level of the TSS ranges is caused by paper mill wastewater treatment plants that are not well operating. Because of the type of organics in paper mill wastewater there is a relative tendency to build up bulking sludge in activated sludge treatment systems. Control measures to avoid and control this undesirable phenomenon are available.

Heavy metals

Heavy metals concentrations in paper mill effluents are generally negligible low. There is no significant increase in concentrations if secondary fibres are used. Nevertheless, occasional measurements of Dutch deinking processing mills have shown that some deinking process mill effluents may contain elevated concentrations of copper and zinc. In that case, printing ink in recovered paper is considered to be the main source of heavy metals. The heavy metals observed occasionally in the effluents are mainly in the form of stable organic complexes [Luttmer, 1996, quoted in Dutch notes on BAT].

AOX and other organic micro-pollutants

Sources of absorbable organic halogen compounds are some additives (especially wet strength-agents), recovered paper based on chlorine bleached pulp and to some extent printing inks. As chlorine bleaching is practically abandoned today AOX containing compounds derived from recovered paper based on chlorine bleached pulp have considerably decreased over the last years. AOX reduced neutral wet strength agents are also available on the market and are an option for further reduction of AOX emissions. Therefore, the AOX concentration is expected to have a downward trend over the years. Occasional measurement in Dutch RCF paper mills (with and without deinking) has shown that average AOX concentrations are in the range of 200 µg/l.

Organic micro-pollutants as chlorophenols or polychlorinated biphenyls may be detectable in some RCF paper mill effluents in very low concentrations depending on the raw materials used

(recovered paper, printing inks, and additives). In occasional measurements in Dutch RCF mills chlorophenols up to 1 µg/l (0.1 - 0.7 µg/l) and polychlorinated biphenyls only in traces (values below the detection limit to 0.11 µg/l [max. value]) have been observed [Dutch note on BAT, 1996].

Salts

Salts, mainly sulphate and chloride, are introduced mainly through recovered paper and some additives as alum. In certain areas, for instance if surface water is a main resource for the production of drinking water or for water quality reasons, attention is given to the discharge of salts. Depending on the types of recovered paper used as raw material and the degree of closure of the water circuits sulphate concentrations up to 1000 mg/l have been observed even if during processing no aluminium sulphate has been used.

5.2.2.6 Solid waste generation

Most of the impurities from the processed recovered paper end up as waste. The major waste materials are rejects, different types of sludge and - in case of on-site incineration of residues - ashes. The major sources of solid waste in RCF based paper mills are stock preparation, process water clarification and wastewater treatment. Depending on used raw materials, process design and type of process and wastewater treatment respectively different amounts and qualities of residues (rejects, sludge) are generated. The residues have to be handled and treated (thickened and de-watered) to generate a residue with a high dry solids content. Achievable dry contents for rejects and sludge are compiled in Table 5.13 and Table 5.14.

Applied reject handling machines	Hydraulic reject press	Pneumatic reject press
Achievable dry contents at < 70% fibre content < 30% fibres content	 up to 65 % ca. 70 %	 55 - 58 % 60 63 %
Energy consumption [kWh/t]	15 – 20	8 - 12

Table 5.13: Achievable dry contents for rejects and corresponding energy consumption for different fibre contents, [Data from a machinery supplier]

Applied sludge handling machines	Wire press incl. pre-thickening	Screw press incl. pre-thickening
Achievable dry contents at < 50% ash content > 50% ash content	 up to 55 % up to 60 %	 up to 65 % up to 70 %
Energy consumption [kWh/t] (incl. pre-thickening)	10 – 15	18 - 20

Table 5.14: Achievable dry contents for sludge and corresponding energy consumption for different ash contents, [Data from a machinery supplier]

The residues can be sub-divided roughly in heavy and coarse rejects, light and fine rejects and sludge. Depending on origin and nature, the sludge again may be sub-divided into de-inking sludge, sludge from micro flotation units from process water clarification and sludge from wastewater treatment (primary sludge, excess sludge from biological treatment). The achievable dry solid contents after de-watering and thickening are 60-80% for coarse rejects, 50-65% for fine rejects and about 60% for sludge.

The amount of residues in RCF based paper mills result from the quality of recovered paper used as raw material and the effort and expense made in preparation of secondary fibres for certain product and process requirements. For the main paper grades and recovered paper qualities the average amounts of residues related to the input of raw material are given in Table 5.15.

			Rejects		Sludge		
Product	**Recovered paper quality**	**Total losses**	**Coarse/ Heavy**	**Fine/ Light**	**Deinking**	**Process Water Clarification**	**Waste water**
Graphic papers	Newspaper, magazines Higher qualities	15-20 10-25	1-2 < 1	3-5 < 3	8-13 7-16	2-5 1-5	≈ 1
Tissue	Office recovered paper, files, ordinary and medium qualities	28-40	1-2	3-5	8-13	15-25	≈ 1
Market DIP	Office recovered paper	32-40	< 1	4-5	12-15	15-25	≈ 1
Testliner /Fluting	Shopping centre waste, recovered paper from households Kraft qualities	4-9 3-6	1-2 < 1	3-6 2-4	---- ----	0-(1) 0-(1)	≈ 1
Paper board	Shopping centre waste, recovered paper from households	4-9	1-2	3-6	----	0-(1)	≈ 1

Table 5.15: Amount of residues related to the input of raw material [%] depending on qualities of recovered paper used and paper grade produced
According to [Borschke, 1997]. The amount of wastewater treatment sludge is assessed assuming an amount of excess sludge of 0.6 kg/kg $BOD_{5\ eliminated}$ (as dry solids) generated during treatment, which is a common figure for activated sludge plants. Thus, depending on the quality of recovered paper and on the process design about 10 kg excess sludge from biological treatment per tonne of paper (on a dry basis) may be expected.

Rejects

Rejects are impurities in recovered paper and consist mainly of lumps of fibres (shives), staples, and metals from ring binders, sand, glass and plastics. Rejects are removed in the largest possible form and in the earliest possible stage in the stock preparation. Rejects constitute approximately 6.5% of the purchased recovered paper and have no recycling potential and so they are dumped or incinerated. If the thickened residues are incinerated in an environmentally compatible incineration plant e.g. fluidised bed generating steam for mill consumer points the residue is reduced to ash which may be used in the building industry or disposed of. However, whether reuse of ashes produced by incineration is feasable, depends on the market demand for this material. On-site incineration of rejects is only applicable to large mills, which generate higher amounts of solid waste. A typical composition of rejects from recovered paper processing (differences in raw materials and products) are given in Table 5.16.

Parameter	Share of single fractions [%] 1)	Average values from a single mill
Water content	45 %	33.3 %
Plastics	25.9 %	
Fibre	27 %	
Glass and stones	0.11 %	
Metals	0.88 %	
Organic substances	1.05 %	
Cl - content of the plastics	5.45 %	
Cl - content related to fuel	1.43 %	1.21
Calorific value H_U (100 % DS)	23800 kJ/kg	25335
Calorific value H_U (55 % DS)	11991 kJ/kg	12828 kJ/kg
Notes: 1) Average from 18 single samplings in German RCF paper mills		

Table 5.16: Composition of rejects from the recovered paper processing for corrugated medium (4-6% reject)
Qualities of processed recovered papers: mainly "collected recovered paper" from households and markets and corrugated board residues

Sludge from process water clarification (paper residue)

These types of sludge are mainly generated at the fibre recovery in the white water circuits and the mechanical treatment unit of the wastewater treatment plant. The paper residue consists of mostly short fibres and fillers (both around 50%) depending on the recovered paper being processed. In the board industry and for production of corrugated medium it is often recycled to the process. For higher-grade products, paper residue does not meet the quality requirements for recycling and is incinerated or dumped. Depending if there is a previous deinking process the sludge may contain to a certain extent inks and pigments particles. Fibre recovery contributes to minimising the quantity of residues. The typical composition of paper residue from fibre recovery and mechanical treatment of wastewater are given in Table 5.17.

Parameter	Unit	Range of values
Dry solid content	%	29.4 - 52.7
Volatile solids	% DS	25.5 - 76.1
Lead	mg/kg DS	10 - 210
Cadmium	mg/kg DS	0.01 - 0.98
$Chromium_{total}$	mg/kg DS	8.8 - 903
Copper	mg/kg DS	19.9 - 195
Nickel	mg/kg DS	< 10 - 31.3
Mercury	mg/kg DS	0.1 - 0.89
Zinc	mg/kg DS	34.2 - 1320

Table 5.17: Composition of sludge from fibre recovery and chemical-mechanical treatment of wastewater
Synopsis of the complete results of chemical analysis of solid wastes from paper manufacturing conducted at German PTS, published in [Solid waste handbook, 1996]

Deinking sludge

This residue contains mainly short fibres, coatings, fillers, ink particles, extractive substances and deinking additives. Ink particles are a potential source of heavy metals but as shown in Table 5.18 the typical pollutant contents of deinking residue have comparable pollutant loads as sludge from biological wastewater treatment plants with slightly higher values for some

substances as copper and zinc. There are relatively significant variations in the pollutant content of the recovered paper and consequently in the de-inking sludge.

Component	Unit	Contents per kg dry solids			
		De-inking sludge [1]	De-inking sludge [2]	De-inking sludge [3]	Wastewater treatment sludge [1]
Cadmium (Cd)	mg	< 0.1	< 0.67	0.02 - 1.54	< 0.1
Mercury (Hg)	mg	< 0.1	0.08	0.1 - 0.89	< 0.1
Copper (Cu)	mg	350	238	64.2 - 345	40
Zinc (Zn)	mg	350	141	34.2 - 1320	250
Lead (Pb)	mg	35	41	9.5 - 79.4	30
Nickel (Ni)	mg	5	5.7	< 10 - 31.3	10
Chromium (Cr)	mg	20	24($Cr_{,total}$)	4.8 - 96.6	10
PCB's	µg	95	n.d.	< 300	5
Chlorophenols	µg	75	n.d.	n.d.	120
Volatile solids	%DS	n.d.	33.2	32.7 - 63.6	48

Notes:
[1] = Dutch note on BAT, 1996; [2] = Representative sampling from a German paper mill, [3] = Synopsis of the complete results of chemical analysis of solid wastes from paper manufacturing conducted at German PTS, published in Solid waste handbook, 1996]; n.d. = not determined

Table 5.18: Typical pollutant contents of de-inking sludge from RCF paper mills compared to sludge from municipal WWTP

Deinking sludge is normally dumped or incinerated. The ash can serve as a resource for building materials.

Wastewater treatment sludge
These sludge is generated at the biological units of the biological wastewater treatment plant and is either recycled to the product (corrugated medium and board) or thickened, dewatered and then incinerated (on- or off-site) or dumped. In many Member States the dumping of waste with high organic content is discouraged by the governments and will be prohibited in the near future. The EU Directive on the landfill of waste will support this tendency in setting targets to cut the amount of biodegradable (municipal) waste sent to landfills. The typical composition and pollution potential of sludge from biological wastewater treatment are given in the right column of Table 5.18 and in Table 4.8.

5.2.2.7 Emissions to the atmosphere

Air emission from energy generation
Emissions to air from paper and board mills originate mainly from energy generation (steam and electricity) and not from the manufacturing process itself. Major pollutants in case of gas firing are CO_2 and NO_x, in case of oil or coal firing CO_2, NO_x, SO_2, dust and low concentrations of heavy metals. These emissions occur at the site of generation. Steam is normally generated at the paper mill in dedicated boilers, so the emissions occur at the site. In many cases, electricity is purchased from the grid, so the emissions occur at the power plant. The electricity/steam consumption ratio at paper mills enables the co-generation of heat and power (CHP). Many paper mills apply CHP and then all emissions to air associated with the energy consumption occur at the site. The typical emissions from on-site installations for co-generated heat and power generation are presented in Section 5.3.9 and for steam generation by combustion of different types of fuels (gas, coal, oil) in Section 6.3.15.

Only in some special cases emissions (measured as organic carbon) from the dryer section of the paper machine may occur. If so, they are caused by the use of additives (coating chemicals) or by not well-designed water circuits and wastewater treatment plants respectively but in most cases they are of negligible concern. Therefore, atmospheric emissions from paper mills are mainly related to energy generation.

Air emissions from on-site incineration of sludge or rejects (optional)

The recovered paper processing and papermaking generates a number of wastes with a high organic content (e.g. paper, rejects, de-inking sludge, and biosludge). This waste was formerly landfilled, but an increasing number of companies incinerates its rejects and sludge in on-site incineration plants generating steam used in production processes. The incineration is associated with emissions to air. Examples of measured emissions from incineration of different types of RCF paper mill residues are compiled in Table 5.19. These values include the most relevant pollutants to be expected.

Parameter	Unit	Measured Values[8] (average figures for 1997) Rejects from a RCF packaging paper mil (without de-inking) *	Measured Values [9] (daily average figures for 01-09/ 1997) Rejects from a RCF newsprint mill with de-inking **	Limit values according to German regulations (daily mean values) ***
Dust	mg/Nm³	3.2	6.6	10.0
SO_2	mg/Nm³	26.0	1.2	50.0
NO_x	mg/Nm³	195	‘95: 271; ‘96: 227; ‘97: 176	200
CO	mg/Nm³	14.1	14	50.0
HCI	mg/Nm³	1.7	2.6	10.0
HF	mg/Nm³	0.06	no data (n.d.)	1.0
Total-C	mg/Nm³	1.4	1.1	10.0
Cd, TI	µg/Nm³	< 17.0	(n.d.)	50.0
Hg	µg/Nm³	5	(n.d.)	50.0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm³	71.0	(n.d.)	500
Dioxins/Furans	ng I-TE/Nm³	0.097	(n.d.)	0.1

Explanatory notes:
All values refer to standard conditions and oxygen content of 11 % per volume.

* Emission data of reject incineration in a multiple hearth combustion plant; the flue gas purification is equipped with a two-stage wet scrubber for removal of acid pollutants (mainly SO_2 and HCl). For minimising dioxin emissions, a mixture of activated carbon and zeolithe is injected into the recycled flue gas stream. Reduction of NO_x emissions is achieved by SNCR using ammonia, which is injected into the combustion chamber. Dust emission is reduced by an electrostatic precipitator

** The reduction of NOx has been achieved by use of SNCR i.e. injection of ammonia; dust emission is reduced by use of bag filters

*** According to the Seventeenth Ordinance on the Implementation of the Federal Immission Control Act (Ordinance on Incinerators for Waste and similar Combustible Material), of 23 November 1990

Table 5.19: Measured emission data from incineration of rejects and sludge from two German RCF mills

The left column refers to measured average values of a RCF packaging paper mill (without de-inking). The right column shows measured values from incineration of different types of sludge from a deinking plant (sludge from raw and wastewater treatment, sludge from process water clarification and de-inking sludge) before and after measures for NOx reduction. The values are compared with German legal standards

[8] See Section 5.3.11, example 1.

[9] Environmental Declaration 1997 Sachsen Papier Eilenburg GmbH.

Odour from vapours and from wastewater treatment plant (local)
Local air problems might occur due to odour and coarse dust. No BAT measures will be identified for these because they are local matters.
Especially in case of closing up the water circuits below a water consumption of around 4 m^3/t odours caused by lower organic acids and H_2S may be perceived in the neighbourhood of paper mills. But, also in paper mills with less water circuit closure annoying odours may be found. They may be caused by too long retention times of process water in the water system (pipes, chests, etc.) or deposits of sludge causing the built up of hydrogen sulphide. If so, they can be avoided by suitable process engineering measures. The wastewater treatment plant of RCF paper mills may also emit significant quantities of odour. If the wastewater treatment is well designed and controlled annoying odours can be avoided.

Coarse dust from raw material handling (local)
The recovered paper is stored on recovered paper yards that are integrated in the paper mill. During the transport of the recycled paper to the pulper dust might be generated especially when recovered paper is delivered as loose material in big containers or by bulk dumping. The control of this dust is rather a matter of industrial safety than of environmental protection. It is not further described here.

5.2.2.8 Noise from paper machines (local)

In the neighbourhood paper machines may give rise to nuisance as a result of noise. Many mills have taken measures to reduce noise generation. For more details on noise levels from paper machines please refer to 6.2.1.8.
Besides noise, sometimes (low-frequency) vibrations may give rise to nuisance on local level.

5.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden

In diesem Abschnitt sind alle **relevanten** Techniken aufgeführt, die gegenwärtig sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken zur Altpapieraufbereitung für die Vermeidung von Emissionen/Abfall und für die Reduzierung von Energie- und Rohstoffverbrauch verfügbar sind. Mit „Techniken, die bei Bestimmung der BVT betrachtet werden“ sind technische Alternativen gemeint, die die besten Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz und die Wirtschaftlichkeit aufweisen oder Verbesserungsmöglichkeiten zur Erreichung der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung darstellen.

Diese Techniken umfassen sowohl prozessintegrierte als auch Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen. Allerdings gibt es zwischen den weiter unten beschriebenen prozessinternen Lösungen und externen Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen bestimmte Überschneidungen. Die Liste von Techniken ist nicht erschöpfend und könnte bei der Überarbeitung dieses Dokuments fortgeführt werden.

Bei der Beschreibung der Techniken wird ein Überblick über die Vor- und Nachteile bei ihrer Umsetzung gegeben. Die Beschreibungen sind alle in der gleichen Art und Weise strukturiert; so wird für jede Technik eine Beschreibung gegeben und Angaben zu den wichtigsten erreichten Emissionsniveaus, zur Anwendbarkeit, zu den Verlagerungseffekten, zur Wirtschaftlichkeit, zu Betriebserfahrungen, zu Referenzanlagen und zu Literaturhinweisen gemacht.

Einige der in diesem Abschnitt beschriebenen Maßnahmen gelten nur für bestimmte Papiersorten, die auf Basis von Recyclingfasern ohne Deinking hergestellt werden während andere unabhängig von der hergestellten Papiersorte eingesetzt werden können. Bei ersteren wird darauf hingewiesen und bei den anderen Techniken wird davon ausgegangen, dass sie allgemein für die Altpapieraufbereitung eingesetzt werden können.

Anlagen zur Altpapieraufbereitung sind mit sehr wenigen Ausnahmen in eine Papierfabrik integriert. Deshalb gibt es zwischen dem Altpapieraufschluss und der Stoffaufbreitung auf der einen Seite und der Papierherstellung mit den damit verbundenen Prozessen auf der anderen bestimmte Überschneidungen. In diesen Fällen wird auf die entsprechenden Kapitel querverwiesen.

Schließlich können viele Maßnahmen und Verbesserungsansätze sowohl für Altpapierfabriken als auch für Fabriken zur Herstellung von Papier aus Frischfasern angewendet werden. Bei diesen Maßnahmen erfolgt ein Querverweis, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden und um Ähnlichkeiten und Unterschiede bei der Herstellung der verschiedenen Papiersorten aufzuzeigen.

Tabelle 5.20 bietet einen Überblick über die Techniken zur Reduzierung der Emissionen aus der Altpapieraufbereitung. Es wurde versucht, in derselben Tabelle zu jeder Technik mögliche Verlagerungseffekte anzugeben. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, die Verlagerungseffekte so zu beschreiben, dass keinerlei kontroverse Diskussion ausgelöst wird. Bei der Bewertung der Verlagerungseffekte gibt es eine Vielzahl von Grauzonen. Weiterhin können sie von anderen Techniken abhängen, die mit der gegebenen Maßnahme zusammenhängen, vom Bezugspunkt, mit dem eine Technik verglichen wird, und von den betrachteten Systemgrenzen. Deshalb sollte die qualitative Bewertung der Verlagerungseffekte nur als Hilfestellung für Betreiber und Aufsichtsbeamte verstandenen werden. Sie nennt die Nebenwirkungen, die mit einer Maßnahme möglicherweise verbunden sein können und ist nicht mehr als der Ausgangspunkt für die Betrachtung von Verlagerungseffekten. Die Ergebnisse der Bewertung sollten nicht als zwingend angesehen werden. Weiterhin können einige der Verlagerungseffekte durch die Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vermieden werden. Die entsprechenden Abschnitte bei der Darstellung jeder Technik bieten weitere Erklärungen. Die Tabelle deutet auch an, welches Umweltmedium (Wasser, Luft, Abfall und Energie) eine Maßnahme betrifft.

In den Zeilen der Tabelle 5.20 sind die einzelnen verfügbaren Techniken zusammengestellt. In den Spalten wird durch die nach oben und nach unten gerichteten Pfeile ("↑" und "↓") die Tendenz der Auswirkungen angedeutet, die durch die verschiedenen Techniken hinsichtlich Emissionen und Rohstoffverbrauch ausgelöst wird. Nach unten gerichtete Pfeile "↓" weisen auf Einsparungen bei Rohstoffverbrauch und Energieeinsatz und auf Reduktionen von Emissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden hin. Nach oben gerichtete Pfeile "↑"

deuten auf eine Erhöhung der Emissionen, des Verbrauchs an Rohstoffen und Energie sowie auf Auswirkungen auf den Produktionsprozess hin. Einige der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung betreffen gleichzeitig mehr als ein Umweltmedium (Wasser, Luft oder Boden). Einige Techniken können eine positive und/oder negative Auswirkung auf andere Umweltmedien oder auf den Rohstoff- und Energieverbrauch haben (Verlagerungseffekte). Die auftretenden Auswirkungen werden mit den Pfeilen ausgedrückt. Bei der Einführung einer bestimmten Maßnahme bedeutet ein in Klammer gesetzter Pfeil "(↑)" eine leichte, oft vernachlässigbare Erhöhung des Rohstoff- und Energieverbrauchs oder von Emissionen in die Umwelt. Die wirtschaftlichen Aspekte (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Tabelle nicht enthalten, werden aber im Text erklärt. Grundsätzlich können die Angaben zur Wirtschaftlichkeit nur ein ungefähres Bild liefern und deuten so die Größenordnung der Kosten an. Sie variieren mit der Konzeption der gesamten Anlage und hängen unter anderem von der Größe der Fabrik und der Verträglichkeit der Maßnahme mit anderen Anlagenteilen ab.

Jede Technik ist mit der Kapitelnummer versehen, um das Auffinden des entsprechenden Textabschnittes zu erleichtern, in dem jede einzelne Technik im Detail dargelegt ist.

Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden	**Auswirkungen auf die Verbrauchs- und Emissionsniveaus (Verlagerungseffekte)**					
	Chemikalien-verbrauch	Energie- (E) und Wasser- (W) verbrauch	Abwasser-emissionen	Abgas-emis-sionen	Fester Abfall	Anwendbar-keit
5.3.1 Trennung des weniger verunreinigten vom verunreinigten Wasser und Recycling	(↓)	↓	(↓)	0	0	alle Sorten
5.3.2 Optimales Wassermanagement (Wasser-kreislaufführung) und Wasserreinigung	(↓)	↓	↓	0	(↓)	alle Sorten
5.3.3 Reduzierung des Frischwasserver-brauchs durch konsequente Trennung der Wasserkreislaufsysteme	0	↓	(↓)	0	0	alle Sorten
5.3.4 Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter biologischer Behandlung des Prozesswassers	0	(↓)	↓	0	(↓)	"braune Sorten"
5.3.5 Anaerobe Techniken als erste Stufe der biologischen Abwasserbehandlung	0	↓ E	↓	(↓)	↓	"braune Sorten"
5.3.6 Aerobe biologische Abwasser-behandlung	(↑)	↑ E	↓	0	↑	alle Sorten
5.3.7 Modernisierung der Faserstoffaufberei-tungsanlagen mit verringertem Stromver-brauch und Emissionen	O	(↓↑) abhängig vom gewählten Konzept	O	0	(↓↑)	"braune Sorten"
5.3.8 Bereitstellung von gereinigtem Wasser für Deinkinganlagen	(↑)	(↑)	(↓)	0	(↑)	deinkte Sorten
5.3.9 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)	0	↓	0	0	0	alle Sorten
5.3.10 Aufbereitung und Verarbeitung der Rejekte und Schlämme vor Ort (Entwässer.)	↑	(↑)	0	0	0	alle Sorten
5.3.11 Umweltgerechte Verwertung und Entsorgung der Rückstände	0	↓	(↓)	(↑)	↓	alle Sorten
Beispiel 1: Energetische Verwertung der Rejekte aus Altpapier verarbeitenden Fabriken ohne Deinking in einer Rejektverbrennungsanlage	↑	(↓)	0	(↑)	↓	hauptsächl."b raune Sorten"
Beispiel 2: Mitverbrennung von Rejekten aus Altpapier verarbeitenden Fabriken ohne Deinking in Kohlekraftwerken	0	↓	0	(↑)	↓	hauptsächl. "braune Sorten"
Beispiel 3: Verbrennung der Rückstände (Re-jekte und Schlamm) aus Anlagen zur Herstel-lung von deinktem Altpapierstoff in Kombi-nation mit Strom- und Dampferzeugung						hauptsächl. "weiße Sorten"
Legende/Fußnote ↑ = Erhöhung; ↓ = Reduktion; O = keine (oder vernachlässigbare) Auswirkung; (↑) oder (↓) = geringer Einfluss in Abhängigkeit von den Bedingungen						

Tabelle 5.20: Übersicht über die Techniken, die bei der Bestimmung der BVT für Altpapierfabriken betrachtet werden; die Verlagerungseffekte und ein Hinweis zur Anwendbarkeit sind ebenfalls angegeben

5.3.1 Trennung des weniger verunreinigten vom verunreinigten Wasser und Rückführung dieses Prozesswassers

Beschreibung der Technik: Diese Maßnahme ist Teil des optimalen Wassermanagements in Papierfabriken. Das Wassermanagement in Papierfabriken ist eine komplexe Aufgabe, die viele Aspekte beinhaltet. Zur Übersicht sind nachfolgend die wichtigsten Grundsätze für die betriebsinternen Maßnahmen zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs und der Abwassereinleitungen bei Altpapierfabriken (Schließung des Systems) kurz zusammengefasst. Bei jedem Punkt wird auf diejenigen Abschnitte des Dokuments verwiesen, in denen detailliertere Informationen zu finden sind.

- Einsatz von geeigneten Techniken zur Trennung von weniger verunreinigtem Wasser von verunreinigtem Prozesswasser. Maßnahmen, die dabei in Betracht zu ziehen sind, sind die Trennung und Wiederverwendung von Kühlwasser und die Wiederverwendung von wenig verunreinigten Sperr- und Prozesswässern, die in Vakuumsystemen zum Einsatz kommen. Diese Maßnahme wird weiter unten dargestellt.
- Reduktion des Frischwasserverbrauchs durch Rückführung von Kreislaufwasser zu verschiedenen Stellen in Abhängigkeit von den benötigten Wasserqualitäten. Diejenigen Vorgänge im Prozess, die bezüglich der Reduzierung des Frischwasserverbrauchs von besonderem Interesse sind, sind die Verdünnung von Faserrohstoffen und Füllstoffen, die Verdünnung von Prozess- und Produkthilfsmitteln, Spritzwassersysteme, das Vakuumsystem und Sperrwasser für Pumpen und Rührwerke (siehe Abschnitt 5.3.2 und Abschnitt 6.3.1).
- Reduktion des Frischwasserverbrauchs durch konsequente Trennung der Wasserkreisläufe zusammen mit Gegenstromführungen (siehe Abschnitt 5.3.3).
- Erzeugung von geklärtem Wasser aus Kreislaufwasser zur Substitution von Frischwasser, das normalerweise in der Anlage zur Faserrückgewinnung durch Einsatz von Bogensieben, Mehrscheibenfiltern (siehe Abschnitt 6.1.3) oder durch Entspannungsflotation (siehe Abschnitt 5.3.8) gewonnen wird.
- Maßnahmen zur Begegnung möglicher negativer Auswirkungen der erhöhten Rückführung von Prozesswasser (siehe Abschnitt 6.3.2).
- In einigen Fällen wird die weitere Reinigung von geklärtem Kreislaufwasser eingesetzt (siehe Abschnitt 6.3.3). Dieses gereinigte Wasser erfüllt relativ hohe Qualitäts-anforderungen.

Die Trennung von sauberen Kühlwässern von den Prozessabwässern und ihre Wiederverwendung für andere Zwecke sind Wege zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs. Zum Schutz werden Mikrosiebe und andere Knotenfänger zur Entfernung der Feststoffe empfohlen. Dort, wo Kühlwasseranteile in die Kanalisation abgeleitet werden, sollte ihre Vermischung mit verunreinigtem Prozessabwasser zur Sicherstellung der Reinigungsleistung der Abwasserbehandlung und zur Reduzierung der Behandlungskosten vermieden werden.

Die gebräuchlichste Einrichtung zur Vakuumerzeugung ist die Wasserringpumpe, die Sperr- und Prozesswasser in der Größenordnung von ungefähr 1 l/min je installiertem kW benötigt [tm 007, JP 1994]. Die installierte Leistung eines Vakuumsystems für eine große Papiermaschine zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier kann bei 3000 kW liegen. Dies würde zu einem Sperr- und Prozesswasserverbrauch von ca. 7 m^3/t für die Zeitungsdruckpapier-Maschine führen. Das Sperrwasser dürfte mit Fasern verunreinigt sein und die Temperatur steigt an, wenn es die Wasserringpumpe durchläuft. Der Frischwasserbedarf an Sperr- und Prozesswasser von Wasserringpumpen kann durch die Wasserrückführung von den Pumpen über einen Wärmetauscher oder Kühlturm erheblich reduziert werden. Dies ist in vielen europäischen Papierfabriken üblich. Manchmal muss das Prozesswasser für die Wasserringpumpe durch Einsatz z.B. eines Bogensiebes vor seinem Eintritt in den Wärmetauscher geklärt werden. Es kann auch die Einstellung des pH-Wertes im Wasserkreislauf erforderlich sein.

Es kann die Erhöhung der Kapazität zur Speicherung von Prozesswasser erforderlich sein, um unnötige Überläufe von Kreislaufwasser im Falle eines Produktionsstillstandes oder anderen Situationen, die zu einem Ungleichgewicht bei der Faserstoffverarbeitung führen, zu vermeiden. Die Erhöhung der Speicherkapazität bedeutet normalerweise die Installation von zusätzlichen Tanks, Rohrleitungen und Pumpen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Trennung und die Wiederverwendung von sauberen Kühlwässern und Wasser von

Vakuumsystemen und von Sperrwässern kann in bestehenden und in neuen Fabriken realisiert werden. Die Trennung und Wiederverwendung von sauberen Kühlwässern von Prozessabwässern ist bei neuen Anlagen relativ einfach zu bewerkstelligen; bei bestehenden Anlagen ist die Umsetzung dieser Maßnahmen komplizierter. Allerdings ist die Kühlwassertrennung und –rückführung üblich. Das gleiche gilt für die Kreislaufführung von Sperrwässern.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Maßnahme hat einen bedeutenden Effekt auf die Reduktion des Frischwasserbedarfs und der Abwasserableitung. In bestehenden Fabriken kann der Frischwasserverbrauch für Kühlwässer um 10 - 15 m^3/t Papier vermindert werden. Die Trennung von Kühlwasser und verunreinigten Abwässern aus der Papiermaschine kann die hydraulische Belastung der externen Abwasserbehandlungsanlage vermindern.

Bei geeigneter Kreislaufführung des Sperrwassers ist die Verminderung des Frischwasserverbrauchs für Wasserringpumpen auf < 1 m^3/t Papier möglich. Gleichzeitig ist bei Einsatz von Wärmetauschern die Rückgewinnung eines Teiles der Energie möglich.

Verlagerungseffekte: Es treten keine bedeutenden Effekte für die Umwelt auf. Gewisse Energieeinsparungen sind möglich.

Betriebserfahrungen: Die Trennung und das Recycling von wenig verunreinigtem Wasser von verunreinigtem Wasser ist in vielen europäischen Fabriken gängige Praxis, aber der Grad der Wasserkreislaufführung ist unterschiedlich.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Das Recycling von Kühl- und Sperrwässern erfordert üblicherweise zusätzliche Investitionen für Rohrleitungen, für das Pumpen und die Filtration des Wassers. Die Erhöhung der Wasserspeicherkapazitäten bedingt normalerweise die Installation von zusätzlichen Tanks. Angaben zu spezifischen Kosten sind nicht verfügbar.
Neben den Kosten für die Umsetzung der beschriebenen Maßnahmen können Kosteneinsparungen erwartet werden wie z.B. durch niedrigere Kosten für das Rohwasser (und für die Rohwasserbehandlung) und für den Energieverbrauch.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus stellt die Reduzierung des Frischwasserverbrauchs durch Kreislaufführung von wenig verunreinigtem Wasser eine vernünftige Maßnahme dar. Die Ableitung von wenig verunreinigten Kühl- und Sperrwasseranteilen zusammen mit verunreinigtem Prozessabwasser wird in vielen Ländern missbilligt.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa

Literatur:
[CEPI, 1997], [J. Pöyry, 1994b]

5.3.2 Optimales Wassermanagement (Wasserkreislaufführung) und Wasserreinigung

Beschreibung der Technik: Bei der Herstellung von Papier werden die Wasserkreisläufe im Allgemeinen für einen weitgehend reduzierten Frischwasserverbrauch ausgelegt. Wie in Abbildung 5.10 dargestellt, wird bei den heutigen Wasserkreislaufsystemen das Prozesswasser mehrmals wiederverwendet.

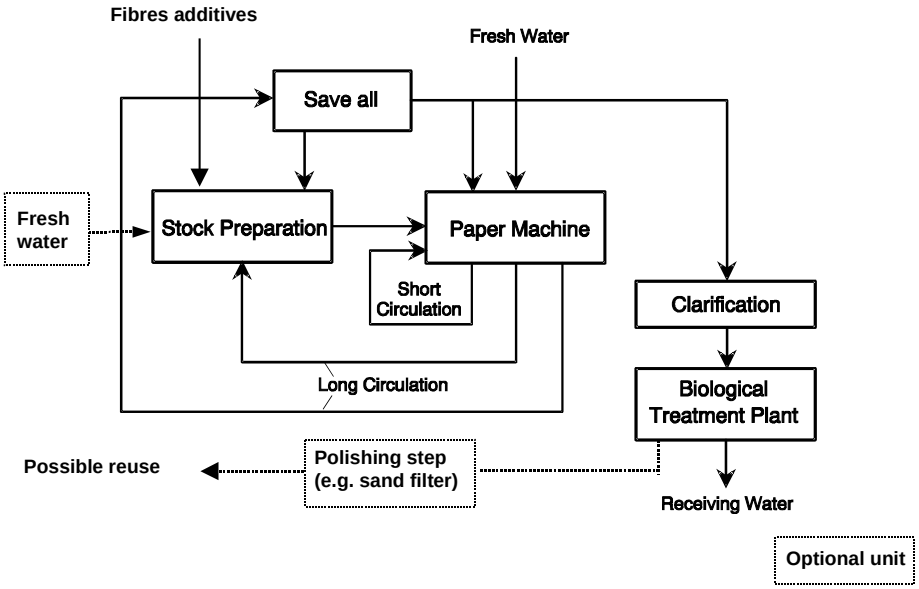


Abbildung 5.10: Schema einer Wasserkreislaufführung in Papierfabriken [ISP, 1998; geändert durch EIPPCB]

Biological Treatment Plant = Biologische Abwasserbehandlungsanlage; Clarification = Klärung; Fibres, additives = Fasern Hilfsstoffe; Fresh Water = Frischwasser; Long circulation = sekundäre Kreislaufführung; Optional unit = optionaler Anlagenteil; Paper Machine = Papiermaschine; Polishing step (e.g. sand filter) = Feinreinigung (z.B. Sandfilter); Possible reuse = mögliche Wiederverwendung; Receiving Water = betroffenes Gewässer; Save all = Stofffänger; Short circulation = primäre Kreislaufführung; Stock Preparation = Stoffaufbereitung

Das Hauptprinzip der Wiederverwendung von Prozesswasser ist der in den Systemen rückwärts gerichtete Prozesswasserfluss, im Gegenstrom zum Faserfluss. Alle Papierfabriken setzen unbehandeltes, mit Fasern angereichertes Kreislaufwasser aus der Papiermaschine zur Verdünnung des Dickstoffs im Mischtrog über der Papiermaschine (Primärkreislauf) oder in der Stoffaufbereitung (Sekundärkreislauf) ein.

Ein Teil des Kreislaufwassers wird unter Einsatz der Filtration (Mehrscheibenfilter, Trommelfilter), der Flotation (Entspannungsflotation) oder der Sedimentation (Sedimentationstrichter, Schrägklärer) in Stofffängern gereinigt (siehe Abschnitt 6.1.3). Das gereinigte Wasser wird dann als Frischwasserersatz eingesetzt, z.B. für Spritzrohre, die für die Reinigung der Bespannung für Papiermaschinen (Siebe, Filze) im Einsatz sind. Gereinigtes überschüssiges Prozesswasser wird zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitet. In einigen Fällen wird gereinigtes Abwasser teilweise als Prozesswasser z.B. für Wellenstoff und Testliner auf Basis von Altpapier und in geringerem Ausmaß für Zeitungsdruckpapier auf Basis von Altpapier wiederverwendet.

Für die Herstellung von Wellenstoff und Testliner kann der Frischwasserverbrauch auf 4 bis 7 m^3 Frischwasser/t hergestellten Papiers verringert werden. Einige europäische Fabriken betreiben sogar ein völlig geschlossenes Wasserkreislaufsystem. Der Frischwasserverbrauch dieser Fabriken liegt im Bereich von 1,0 bis 1,5 m^3/t Papier. Dies entspricht der Wassermenge, die im Trocknerbereich der Papiermaschine verdampft.

In vielen Papierfabriken wird Frischwasser nur zur Verdünnung von Chemikalienzusätzen und an solchen Stellen der Papiermaschine eingesetzt, an denen eine hohe, feststofffreie Wasserqualität benötigt wird, z.B. für Spritzrohre und Kantensprüher.
Allerdings weist das Schließen der Prozesswassersysteme sowohl Vorteile als auch Nachteile auf. Die erhöhte Kreislaufschließung führt zu einer beträchtlichen Belastung des Prozesswassers mit kolloidalen und gelösten organischen und anorganischen Stoffen, die schwerwiegende Probleme im Produktionsprozess verursachen können, wenn nicht Gegenmaßnahmen zur Vermeidung dieser möglichen Schwierigkeiten unternommen werden (siehe 6.3.2). Einige der Vorteile und Nachteile der Wasserkreislaufschließung sind in Tabelle 5.21 zusammengefasst.

Vorteile	Nachteile
- geringerer Wasserverbrauch - geringere Grundwassernutzung - geringere Frischwasseraufbereitung - geringere Abwassereinleitung - eine Produktionserhöhung wird durch Engpässe bei der Abwasserbehandlung nicht behindert - Verringerung der Faser- und Füllstoffverluste - erhöhte Prozesstemperaturen --> verbesserte Entwässerung der Papierbahn auf dem Sieb - reduzierter Energiebedarf	- Anreicherung von (suspendierten) Feststoffen - Anreicherung von organischen und anorganischen Stoffen - komplizierterer Prozess - Korrosionsprobleme - Erhöhter Einsatz von chemischen Additiven - Verstopfung von Anlagenteilen - Probleme mit der Produktqualität - Belag- und Schleimbildung - Anstieg der Prozesswassertemperatur (kann auch ein Vorteil sein, siehe die linke Spalte)

Tabelle 5.21: Einige Vorteile und Nachteile der Wasserkreislaufschließung in Papierfabriken [Dutch notes on BAT, 1996]

Bei völlig geschlossenen Wassersystemen (nur anwendbar für die Herstellung von Testliner und Wellenstoff) können zusätzlich schwerwiegende Probleme auftreten, für die Gegenmaßnahmen ergriffen werden müssen:

- Beträchtlicher Rückgang des Sauerstoffgehaltes des Prozesswassers in die Nähe anaerober Verhältnisse, der mit der mikrobiell bedingten Reduktion von Sulfat zu Schwefelwasserstoff und der Bildung von geruchsintensiven kurzkettigen Fettsäuren einhergeht.
- Verstärktes Wachstum von Mikroorganismen.
- Aggressive Korrosion, die durch hohe Temperaturen und hohe Gehalte an Chloriden, Sulfaten und organischen Säuren hervorgerufen wird.
- Beträchtliche Emission von geruchsintensiven organischen Stoffen aus dem Trocknerbereich der Papiermaschine in die Umgebung der Papierfabrik.
- Beeinträchtigte Qualität des hergestellten Papiers durch geruchsintensive Stoffe
- Höherer Bedarf an Schleimbekämpfungsmitteln.

Die meisten dieser Probleme treten bei Frischwasserverbrauchsniveaus unter 4 - 7 m³/t Papier auf. Um diese schwerwiegenden Probleme zu meistern, haben einige Fabriken, die "Braunpapiere" herstellen, ihren bereits geschlossenen Wasserkreislauf wieder geöffnet und produzieren nun mit einer kleinen Abwassermenge im Bereich von 2,5 bis 5,0 m³/t hergestellten Papiers.
Aufgrund örtlicher Umweltanforderungen setzten einige europäische Papierfabriken Mitte der 90er Jahre neue Methoden ein, um die anspruchsvollen Bedingungen ihrer geschlossenen Prozesswasserkreisläufe in den Griff zu bekommen (siehe Abschnitt 5.3.4). Sie installierten integrierte Behandlungsanlagen zur Reduzierung der organischen Belastung des Prozesswassers.

Um alle beschriebenen Probleme zu meistern und um die Anforderungen an die Papierqualität zu erfüllen, wird bei der Schließung der Wassersysteme ein Frischwasserverbrauch von 4 bis 7 m³/t Papier für notwendig erachtet. Dies entspricht einer spezifischen Abwassermenge von 2,5 bis 5,5 m³/t Papier. Wegen des geeigneten BSB_5/CSB-Verhältnisses kann das Abwasser in kombinierten anaeroben/aeroben oder aeroben Behandlungsanlagen effizient behandelt werden (auf 5.3.5 wird verwiesen).
Bei der Herstellung von Zeitungsdruckpapier auf Altpapierbasis (Deinkingqualität) liegt die niedrigste berichtete Abwassermenge bei ca. 7 m^3/t; normalerweise liegt sie im Bereich von 10 - 15 m^3/t Papier.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Für "braunes" Verpackungspapier kann die Reduzierung des Frischwasserverbrauchs auf ein Niveau von 4 bis 7 m³/t Papier sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken realisiert werden. Allerdings scheint es, dass dieses Niveau zu niedrigen Kosten nur in relativ neuen oder kürzlich modernisierten Fabriken erreicht werden kann. In älteren Fabriken mit höherem Frischwasserverbrauch kann dessen Reduktion in Abhängigkeit von der für Maschinen und Rohre eingesetzten Materialqualität Korrosions-probleme verursachen. Zusätzlich müssen bestehende Abwasserbehandlungsanlagen optimiert werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Durch die Schließung von Wassersystemen fällt weniger Abwasser an, aber es tritt ein höheres Niveau an organischen Verunreinigungen in den

Wasserkreisläufen auf. Als eine Folge davon kann die Behandelbarkeit des Abwassers verbessert werden. Die Reduktion des Frischwasserverbrauchs für die Herstellung von Testliner und Wellenstoff auf ein Niveau von 4 bis 7 m³/t Papier erhöht die CSB-Konzentration des Prozessabwassers auf Werte, für die eine anaerobe Abwasserbehandlung mit Nutzung des Biogasanfalls in Frage kommt. Bei Deinkinganlagen wird der Grad der Wasserkreislaufschließung aufgrund der zu erreichenden Papiereigenschaften (Weißgrad, Reinheit) begrenzt. Es ist eine spezifische Abwassermenge bis zu ca. 10 m^3/t erreichbar. Das Abwasser wird normalerweise mittels aerober Systeme (Tropfkörper oder/und Belebtschlammsysteme) behandelt.

Emissionsmessung: In Frage kommende Messgeräte sind solche zur Bestimmung der Frischwasserzuführung zur Papiermaschine und zur Trübungsmessung des klaren Kreislaufwassers.

Verlagerungseffekte: Die verstärke Prozesswasserwiederverwendung erhöht die Temperatur des Prozesswassers. Deshalb kann der Dampfverbrauch zur Erwärmung des Prozesswassers reduziert werden. Ein Frischwasserverbrauch von 4 bis 7 m³/t Papier verringert das Risiko von Geruchsemissionen mit der Abluft aus der Papiermaschine. Der Einsatz anaerober Abwasserbehandlungsmethoden führt zu einer Verminderung des Bedarfs an fossilen Brennstoffen für die Papierherstellung (siehe Abschnitt 5.3.5).

Angaben zum Betrieb: Die Herstellung von Wellenstoff und Testliner mit einem spezifischen Frischwasserverbrauch von 4 bis 7 m³/t Papier ist üblich. Die Erfahrungen zeigen, dass dieser Bereich für den Frischwasserverbrauch nicht zu negativen Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb der Papiermaschinen und auf die Papierqualität führt. Die Erfahrungen sind sogar in bestehenden Fabriken gut und die gegenwärtige Konzeption der Papiermaschinen unterstützt ihren Einsatz im positiven Sinne. Eine Reihe industrieller Anlagen zur Herstellung von Wellenpapier wird in Europa mit guten Produktqualitäten betrieben.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Verminderung des Frischwasserverbrauchs reduziert die Kosten für die Frischwasseraufbereitung und für die Abwasserbehandlung. Die eingesetzten Maßnahmen hängen von den spezifischen Bedingungen in den Papierfabriken ab. Deshalb ist die Angabe von spezifischen Kosten nicht möglich. Eine ausreichende Speicherkapazität für die Speicherung von Kreislaufwasser ist erforderlich.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Das Schließen der Wassersysteme ist eine Voraussetzung für die effiziente Abwasserbehandlung (niedrigere Investitions- und Betriebskosten und höherer Reinigungsleistungen). Für die Einführung von Maßnahmen zur Reuzierung des Frischwasserverbrauchs gibt es folgende Gründe:

- Einsparung von Frischwasserkosten (in einigen Ländern)
- Einsparung von Kosten für die Abwasserreinigung
- Einsparung von Abwassergebühren
- Örtliche Umweltverhältnisse.

Anlagenbeispiele: In Europa werden zahlreiche Fabriken mit einem Frischwasserverbrauch betrieben, der auf das beschriebene Niveau minimiert wurde.

Literatur:
[IFP, 1998], [Dutch notes on BAT, 1996], [Mönnigmann, 1996]

5.3.3 Reduzierung des Frischwasserverbrauchs durch konsequente Trennung der Wasserkreislaufsysteme und Anwendung des Gegenstromprinzips (Wasserkreislaufeinengung)

Beschreibung der Technik: Für das Recycling von Prozessabwasser in integrierten Zellstoff- und Papierfabriken, was für nahezu alle Papierfabriken auf Basis von Altpapier der Fall ist, besteht das Hauptprinzip darin, den Kreislaufwasserstrom aus der Papierfabrik zur Zellstofffabrik im Gegenstrom zum Produktfluss zu führen. In einer integrierten Zellstoff- und Papierfabrik haben der Aufschlussbereich, die Bleicherei (soweit eine vorhanden ist) und die Papierfabrik jeweils einen eigenen Wasserkreislauf, aus dem das Überschusswasser zur vorgelagerten Verfahrensstufe, für die eine weniger anspruchsvolle Wasserqualität erforderlich ist, zurückgeführt wird. Das überschüssige Kreislaufwasser aus der Papiermaschine wird anstelle von Frischwasser

in der Bleicherei und das Überschusswasser aus der Bleicherei wird anstelle von Frischwasser für den Aufschluss verwendet.

Mit dieser Anordnung können beträchtliche Mengen an Frischwasser eingespart werden. Frischwasser wird in erster Linie nur zur Zubereitung im Papiermaschinensystem benötigt.

Allerdings wird in einer Fabrik zur Herstellung von Tissue manchmal eine Menge von Frischwasser zur wirksamen Wäsche der Maschinenfilze benötigt.

Es ist von großer Wichtigkeit, das Kreislaufwasser durch seine Führung in der gleichen Richtung wie der Produktfluss, d.h. von der Bleichanlage zur Papiermaschine, zu minimieren. Dies wird durch Rückhaltung von möglichst viel Wasser aus dem Faserstrom erreicht, bevor es in das Bleichsystem gelangt und wiederum bevor es in das Papiermaschinensystem gelangt. Auf diese Weise wird die Verschleppung von prozessstörenden Verbindungen zu relativ sauberen Prozesswassersystemen minimiert.

Die Trennung der Wasserkreisläufe wird mittels Eindickern wie Entwässerungsschnecken und Siebpressen oder einer Waschstufe, d.h. einem Eindickungsschritt durchgeführt. Abbildung 5.11 zeigt das vorgeschlagene Konzept für eine holländische Papierfabrik, die kürzlich das Potenzial für die Wasserkreislaufschließung untersucht hat. Die zusätzlichen Eindicker führen zu einer verbesserten Trennung der "schmutzigen" Stoffaufbereitung und von der "sauberen" Papiermaschine und auf diese Weise zu einer beträchtlichen Reduzierung der organischen Stoffe, die den Papiermaschinenkreislauf erreichen.[10]

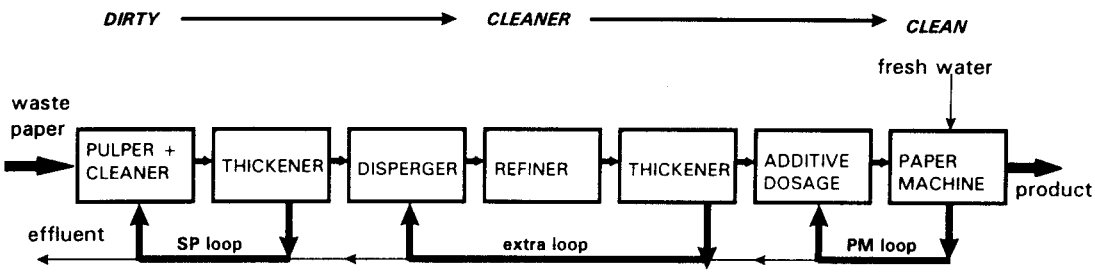


Abbildung 5.11: Schema für die Wasserkreisläufe in einer Papierfabrik mit Trennung der Wasserkreisläufe und Gegenstromführung
SP = stock preparation = Stoffaufbereitung; PM = paper machine = Papiermaschine [RIZA, 1997a]; bei diesem Beispiel wurde berechnet, dass die im Zuge der Stoffaufbereitung anfallende und in den Papiermaschinenkreislauf eingetragene CSB-Fracht ungefähr um den Faktor 2 bis 4 reduziert werden kann
CLEAN = sauber; CLEANER = sauberer; DIRTY = verschmutzt
ADDITIVE DOSAGE = Additivzugabe; DISPERGER = Disperger; effluent = Abwasser; extra loop = zusätzlicher Kreislauf; fresh water = Frischwasser; PAPER MASCHINE = Papiermaschine; PM loop = Papiermaschinenkreislauf; product = Produkt; PULPER + CLEANER = Pulper + Cleaner; Refiner = Refiner; SP loop = Kreislauf für die Stoffaufbereitung; THICKENER = Eindicker; waste paper = Altpapier

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Dies prozessintegrierte Maßnahme kann sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen eingesetzt werden**.**

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Reduktion des Frischwasserverbrauchs, mögliche Reduktion der eingeleiteten CSB-Fracht und keine Erhöhung der Konzentration im Papiermaschinenwasserkreislauf, wodurch der wirtschaftliche Betrieb der Anlage verbessert wird. Die Verminderungsrate hängt hauptsächlich von der Situation vor Einführung der Verbesserungen und dem nachgeschalteten Abwassersystem ab. Die erreichten Umweltverbesserungen sollten als ganzes zusammen mit der externen angewandten Abwasserbehandlung betrachtet werden. Die konsequente Trennung der

[10] Der Faktor, durch den diese Belastung vermindert wird, lässt sich mit guter Näherung durch das Verhältnis der Wassermenge von der Faseraufbereitung zum Papiermaschinenkreislauf zur gesamten den Papiermaschinenkreislauf zugeführten Wassermenge angeben. Dieses Verhältnis gibt den Grad an, mit dem der "schmutzige" Wasserstrom mit dem sauberen, frischen Wasserstrom verdünnt wird.

Wasserkreisläufe führt zu guten Voraussetzungen für die integrierte Behandlung zur Entfernung von Störsubstanzen (so genannte „Nierenbehandlung“). Für weitere Informationen zur „Nierenbehandlung“ wird auf die Abschnitte 5.3.4, 5.5.4, 6.3.3 und 6.5.1 verwiesen

Die Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen in Oberflächengewässern hängen oft eng mit der Reduktion des Frischwasserverbrauchs zusammen. Die Schließung der Wassersysteme führt nicht zu einer Reduktion der Schmutzfracht, aber zur Erzeugung von weniger Abwasser mit höherem Verschmutzungsniveau. Als Folge davon kann die Reinigungsleistung der Abwasserbehandlung verbessert werden. Es muss weniger Abwasser gereinigt werden und im Allgemeinen können konzentrierte Abwasserströme wirksamer behandelt werden.

Durch Rückführung von Prozesswässern und durch die Erhöhung der Speicherkapazität können die Abwassermengen reduziert werden, aber nicht in gleichem Umfang wie durch die Trennung und Sammlung von sauberen, warmen Kühlwässern.

Der niedrigere Frischwasserverbrauch und die Wasserkreislaufschließung führen zu folgenden Vorteilen:

- Geringere Abwassermengen, die in der externen Abwasserbehandlungsanlage zu behandeln sind, d.h. die Behandlungsanlage kann mit geringerer hydraulischer Auslegung und mit niedrigeren Investitionskosten errichtet werden. Die Abwasserinhaltsstoffe liegen konzentrierter im Abwasser vor, was oft zu höherer Reinigungsleistung beiträgt.
- Niedrige Frischwasserkosten
- Geringere Verluste an Fasern und Füllstoffen
- Niedrigerer Energieverbrauch
- Höhere Temperaturen im Prozesswassersystem führen zu schnellerer Entwässerung im Papiermaschinensieb

Der Frischwasserbedarf einer modernen Altpapieraufbereitungsanlage kann bis auf ca. 1 m^3/t Papier reduziert werden. Folglich werden nur ca. 10 % des gesamten Frischwasserbedarfs einer modernen integrierten Fabrik zur

Herstellung von Zeitungsdruckpapier auf Basis von Recyclingfasern (≈10 m^3/t) in der Altpapieraufbereitungs-anlage verbraucht.

Allerdings ist in einer Fabrik zur Herstellung von Tissue manchmal viel Frischwasser zur wirksamen Papiermaschinenfilzwäsche erforderlich. Für Fabriken zur Herstellung von Papier auf Basis von Altpapier ohne Deinking wird für die Stoffaufbereitung kein Frischwasser benötigt.

Verlagerungseffekte: Die Trennung der Wasserkreisläufe durch Einführung von Eindickern führt zu einer beträchtlichen Änderung in der Zusammensetzung des Papiermaschinenwasser-kreislaufs in Bezug auf die Niveaus an organischen und anorganischen Stoffen (z.B. anionische Stoffe). Dies führt zu einem veränderten Einsatz an chemischen Additiven in der Nasspartie, was sich wiederum auf die CSB-Niveaus auswirkt. Bei bestimmten Anwendungen kann die Einführung eines zusätzlichen Wasserkreislaufs zu einem Temperaturrückgang im Papiermaschinen-kreislauf führen, z.B. wenn der Papiermaschinenkreislauf vom Disperger und Refiner getrennt wird, die als Einrichtung zur Prozesswassererwärmung fungieren (siehe Abbildung 5.11).

Betriebserfahrungen: Das Hauptprinzip, die nach hinten gerichtete Kreislaufwasserführung im Gegenstrom zum Produktfluss, kann nur in integrierten Zellstoff- und Papier-/Kartonfabriken eingesetzt werden. Altpapieranlagen sind mit wenigen Ausnahmen in eine Papierfabrik integriert. Bei der Stoffaufbereitung ist die Reinheit des Prozesswassers weniger kritisch als beim Kreislaufwasser der Papiermaschine. Deshalb verbraucht die Stoffaufbereitung zu einem großen Anteil überschüssiges, geklärtes Kreislaufwasser aus der Papierfabrik und intern geklärtes Kreislaufwasser.
Die potenziell auftretenden Nachteile der Schließung von Wassersystemen sind zu vermindern (siehe 6.3.2). Ansonsten kann die Anreicherung von ungelösten Stoffen sowie von gelösten organischen und anorganischen Stoffen im Kreislaufwassersystem nachteilige Auswirkungen verursachen (siehe 5.3.3).

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Kosten für diese Maßnahme hängen von der Anzahl und Ausgestaltung der notwendigen Wasserkreislaufsysteme und der Art der zusätzlich benötigten Installationen ab.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Grund für das Prozesswasserrecycling liegt in der Verminderung der Abwasserbelastung aus integrierten Altpapier verarbeitende Fabriken. Ein lokal bedingter Grund für die Einführung dieser Technik könnte in der Reduktion der Grundwassernutzung liegen.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa

Literatur:
[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b], [RIZA, 1997a]

5.3.4 Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter biologischer Behandlung des Prozessabwassers

Diese Technik wird gegenwärtig nur bei der Bestimmung der BVT für "Braunpapiere" betrachtet, die aus Altpapieren hergestellt werden. Allerdings ist das Grundprinzip der Behandlung eines Teilstromes aus dem Gesamtprozess durch Einsatz eines kombinierten physikalisch-biologischen Systems für viele andere Papierfabriken von Interesse. Die Prozesswasserbehandlungsanlagen können auch als ‚Nieren' in vollständig geschlossenen Wasserkreisläufen aufgefasst werden.

Beschreibung der Technik: In Europa und Nordamerika waren einige Papierfabriken zur Herstellung von Wellenstoff und Testliner dabei erfolgreich, ihre Abwassereinleitungen auf Null zu bringen und so genannte geschlossene Wassersysteme zu betreiben. Allerdings verursacht die unvermeidliche Anreicherung von ungelösten und kolloidalen organischen Stoffen in den geschlossenen Wasserkreisläufen gravierende Probleme, wie Korrosion, unangenehmen Geruch im hergestellten Papier und auch in emittierten Dampfschwaden aus den Papiermaschinen. Zur Reduzierung der organischen Belastung des Prozesswassers sind Behandlungstechniken, die gewöhnlich für die end-of-pipe-Abwasserbehandlung eingesetzt werden, für die innerbetriebliche Behandlung angepasst worden. Ein Teilstrom des Prozesswassers wird in biologischen Behandlungsanlagen behandelt und das gereinigte Wasser für die Papierherstellung wieder verwendet. Der Hauptvorteil für die integrierte Behandlung besteht darin, dass nur ein Teil der CSB-Fracht aus der Kreislaufwasserabschlämmung eliminiert werden muss, um ein vorgegebenes Belastungsniveau in den Kreisläufen zu halten. Dies macht die integrierte Abwasserbehandlungsanlage wirtschaftlich attraktiv. Gegenwärtig sind verschiedene technische Varianten in Betrieb. Zwei von ihnen werden nachfolgend kurz beschrieben:

Variante 1: Anaerobe Behandlung, gefolgt von einem Wiederbelüftungsschritt und einer Enthärtungsanlage. Nach der Entfernung von wieder verwendbaren Fasern durch physikalische Behandlung wird ein Teil des gesamten Prozesswasserstromes in einer Behandlungsanlage gereinigt und als Prozesswasser wieder verwendet. Der Kreislauf zur Reduzierung der Konzentration besteht aus einer anaeroben Behandlung in einem Wirbelbettreaktor, die durch eine Wiederbelüftungsstufe zur Überführung von Sulfiden in Sulfate und einer Enthärtungsanlage zur Vermeidung der Belagbildung durch Calciumcarbonat im Anaerobreaktor und anderen Teilen des Wassersystems komplementiert wird.

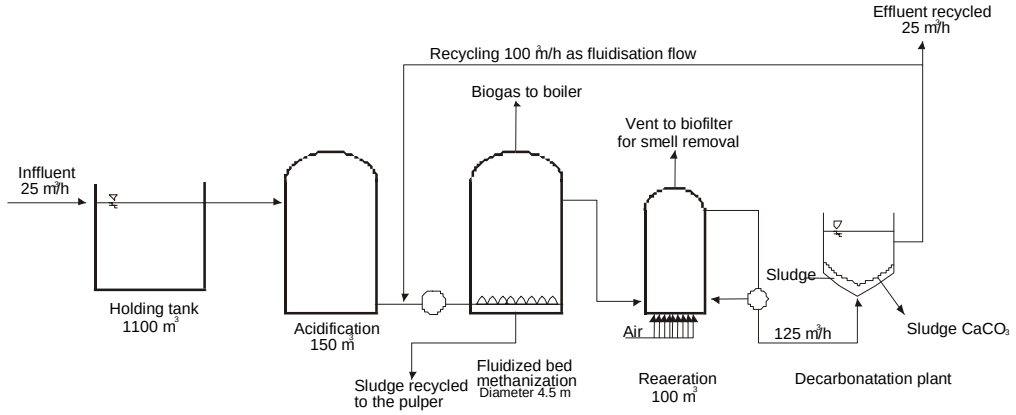


Abbildung 5.12: Beispiel für die integrierte Abwasserbehandlung einer abwasserlosen Fabrik, die Wellenpapier herstellt [Niovelon, 1997]

Acidification = Versäuerung; Air = Luft; Biogas to boiler = Biogas zum Kessel; Decarbonation plant = Enthärtungsanlage; Diameter 4.5 m = 4,5 m Durchmesser; Effluent recycled = rückgeführtes Abwasser; Fluidized bed methanization = Wirbelbettmethanisierung; Holding tank = Vorlagebehälter; Influent = Zulauf; Sludge = Schlamm; Reaeration = Wiederbelüftung; Recycling 100 m^3/h as fluidisation flow = Rückführung von 100 m^3/h als Fluidisierungsstrom; Sludge recycled to the pulper = zum Stofflöser (Pulper) rückgeführter Schlamm; Vent to biofilter for smell removal = Abluft zum Biofilter zur Geruchsbeseitigung

Variante 2: Anaerobe Behandlung kombiniert mit einem Belebtschlammsystem und einem Sandfilter.
Ein Teilstrom des Prozesswassers wird zur Reduktion der Wassertemperatur von 55°C auf 35°C gekühlt.
Ein Puffertank/Vorversäuerungsreaktor wird zur Vorkonditionierung des Wassers mit Nährstoffen eingesetzt, anschließend wird der Teilstrom dem UASB-Reaktor zugeführt. Diesem Reaktor ist eine aerobe Behandlung in zwei parallel angeordneten Belüftungs-/Belebtschlammbecken nachgeschaltet. Nach Durchlaufen des Nachklärbeckens wird das behandelte Wasser Sandfiltern zur Verminderung der Konzentration an Feststoffen zugeführt. Das anfallende Biogas aus den Anaerobreaktoren wird zur Entfernung von H_2S gewaschen und anschließend zur Dampferzeugung eingesetzt.

Ein vereinfachtes Schema der Prozessabwasserbehandlung ist in Abbildung 5.13 dargestellt.

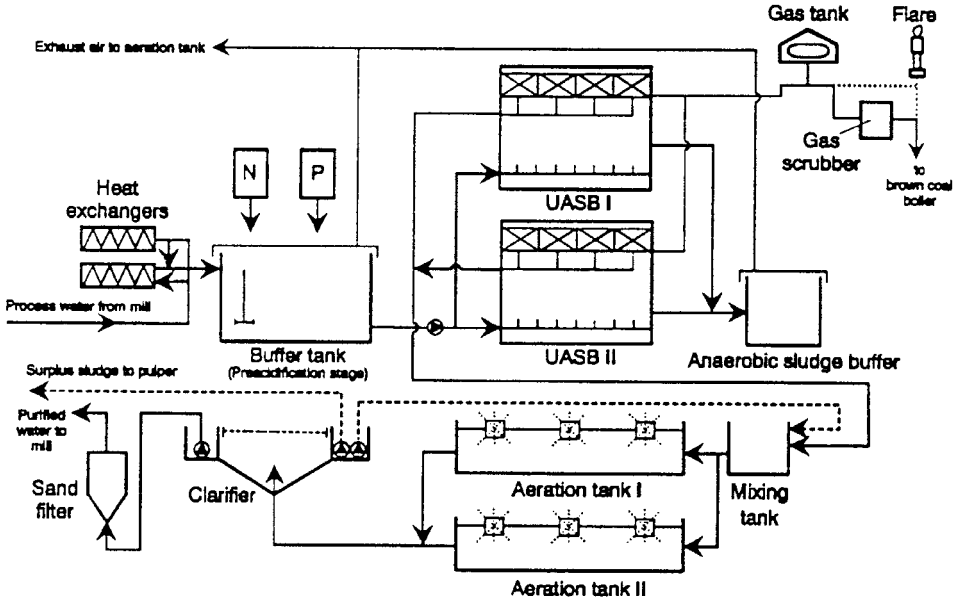


Abbildung 5.13: Beispiel für die integrierte Behandlung des Prozesswassers geschlossener Kreisläufe bei der Zülpich Papier GmbH, Recycled Paper Europe [Diedrich, 1997]

Aeration tank = Belüftungs-/Belebtschlammbecken; Anaerobic sludge buffer = Pufferbehälter für den Anaerobschlamm; Buffer tank = Pufferbecken; Clarifier = Nachklärbecken; Exhaust air to aeration tank = Abgas zum Belüftungsbecken; Flare = Fackel; Gas scrubber = Gaswäscher; Gas tank = Gasbehälter; Heat exchangers = Wärmeaustauscher; Mixing tank = Mischbecken; Preacidification stage = Vorversäuerungs-stufe; Process water from mill = Prozesswasser von der Fabrik; Purified water to mill = gereinigtes Wasser zur Fabrik; Surplus sludge to pulper = Überschussschlamm zum Stofflöser

(Pulper); to brown coal boiler = zum Braunkohlekessel; UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket = UASB-Reaktor (auch Schlammbettreaktor genannt)

Durch die integrierte Behandlung ist es möglich, das angestrebte CSB-Niveau in den Kreisläufen zu erreichen; dieses hängt von der behandelten Abwassermenge und der Anlagengröße ab. Die Variante des abwasserlosen Betriebes beinhaltet nicht das Erreichen einer hohen Reinigungsleistung entsprechend der rechtlichen Regelungen, sondern nur das Erreichen akzeptabler Konzentrationsniveaus in den Kreisläufen bei guten Eigenschaften der Papierprodukte. Soweit das CSB-Niveau im geschlossenen Wasserkreislauf bei 7000 - 8000 mg O_2/l gehalten wird, ähnelt die Prozesswasserqualität der von Fabriken mit einer gegenwärtigen spezifischen Abwassermenge von ca. 3 bis 4 m^3/t Papier.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter biologischer Prozesswasserbehandlung können theoretisch für neue und für bestehende Papierfabriken eingesetzt werden. Allerdings gibt es mehrere Gründe dafür, weshalb diese Technik nicht allgemein als BVT angesehen wird. Der Hauptgrund besteht in der Calciumcarbonatausfällung im Prozesswasserkreislauf sowie in den anaeroben und aeroben Behandlungsanlagen. Die Problematik der Calciumkonzentration ist komplex und noch nicht vollständig geklärt. Es sind für dieses Problem noch technische Lösungen zu entwickeln. Zusätzlich ist für die Anwendung der integrierten biologischen Behandlung in einer bestehenden Papierfabrik das gesamte Wasser-Faser-System zu optimieren, wofür einige Jahre erforderlich sind oder diese Optimierung, besonders in älteren Fabriken, überhaupt nicht durchgeführt werden kann. Allerdings wird das Recycling eines Teiles des Wassers nach biologischer Behandlung bei einer begrenzten Anzahl europäischer Papierfabriken, die Wellenpapier herstellen, praktiziert.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter Behandlung führen zum abwasserlosen Betrieb.
Sofern eine Papierfabrik bereits ein abwasserfreies Prozesswassersystem betreibt, kann die integrierte Behandlung eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Verschmutzung bei der Papierherstellung und zur Reduzierung der Konzentration an geruchsintensiven Stoffen im freigesetzten Dampfschwaden aus der Papiermaschine sein.

Eine deutsche Papierfabrik, die seit 1970 Wellenstoff und Testliner unter vollständig abwasserfreien Bedingungen (ohne integrierte biologische Behandlung) herstellt, hat durch die Inbetriebnahme einer integrierten biologischen Prozesswasserbehandlungsanlage im Jahre 1995 beträchtliche Verbesserungen bei der Prozesswasserqualität, der Papierqualität und bei der Emission von organischen Substanzen mit freigesetzten Dampfschwaden aus den Papiermaschinen erreicht.

Überwachung der Emissionen: Bei abwasserlosen Fabriken müssen keine Abwasser-emissionen ins betroffene Gewässer überwacht werden.

Verlagerungseffekte: Anaerob-Techniken zur integrierten Behandlung verringern den Anfall an überschüssiger Biomasse. Die überschüssige Biomasse kann entweder in der Papierproduktion wieder verwendet oder unter Energierückgewinnung verbrannt werden. Der Energiebedarf für die integrierte Behandlungsanlage (Pumpen, Belüfter, Rührwerke) wird vollständig durch die thermische Verwendung des anfallenden Biogases gedeckt. Im Vergleich zum vollständig geschlossenen Wasserkreislauf ohne integrierte Behandlung kann die Konzentration von geruchsintensiven Stoffen im Prozesswasser (z.B. Ameisensäure, Essigsäure, Propionsäure und Milchsäure) um 95 % reduziert werden. Dies führt zu einer beträchtlichen Verringerung der Emissionen dieser organischen Stoffe mit den aus der Papiermaschine freigesetzten Dampfschwaden. Auf diese Weise können unangenehme Gerüche beträchtlich reduziert werden.

Angaben zum Betrieb: In einer deutschen Papierfabrik, die Variante 2 umgesetzt hat, wurde die integrierte Prozesswasserbehandlung im September 1995 in Betrieb genommen. Die erwartete Reinigungsleistung der biologischen Behandlung wurde innerhalb weniger Wochen erreicht. Seit dieser Zeit wird die Anlage ohne größere Probleme betrieben. Dennoch treten Probleme durch die Ausfällung von Calciumcarbonat in Rohrleitungen und in den Belüftungsbecken auf, die in der Zukunft gelöst werden müssen. Maßnahmen zur Reduzierung der Calciumcarbonatausfällungen befinden sich noch in der Entwicklung.

Die hydraulische Betriebssicherheit der Kreislaufschließung beinhaltet die kontinuierliche Zuführung von nur 50% der Wassermenge, die in der Trockenpartie der Papiermaschine verdampft wird (ca. 1 m^3/t), d.h. es müssen zur Reduktion des Wasserverbrauchs interne Änderungen der Kreisläufe durchgeführt werden.

Eine französische integrierte Behandlungsanlage mit Enthärtung (Variante 1) erreichte ihre angestrebten Betriebsbedingungen nicht vor Ende Mai 1997. Der Prozesswasserkreislauf ist vollständig geschlossen. Der wirtschaftliche Betrieb der Papiermaschine und die Qualität des hergestellten Papiers werden nach vorliegenden Angaben nicht nachteilig beeinflusst.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Anaerobe Anlagen erfordern kleinere und billigere technische Einrichtungen als die aerobe Behandlung bei niedrigeren Betriebskosten und mit Energieeinsparungen durch den Anfall von Methan. Für Variante 1 wurden Investitionskosten von 2,5 Mio. EUR (einschließlich Vorlagebehälter, Versäuerungsbehälter, Anaerobreaktor, Wiederbelüftungsstufe mit Biofilter) berichtet. Die Enthärtung erforderte zusätzliche Investitionskosten von 0,5 Mio. EUR.

Für eine deutsche integrierte Behandlungsanlage, mit der Variante 2 realisiert wurde, fielen Investitionskosten von 6 Mio. EUR an (mit einem Zuschuss von 1 Mio. EUR). Die gesamten jährlichen Betriebskosten umfassen die Kosten für Chemikalien, für die Entsorgung von abgetrenntem Schwefel, für Personal und Unterhaltung und belaufen sich auf 165000 EUR. Darin sind Nettoenergieeinsparungen von 13000 EUR/a enthalten. Unter der Annahme einer Papierproduktion von 360000 t/a und einer Menge an behandeltem Prozesswasser von 1000000 m^3/a werden spezifische Betriebskosten von 0,5 EUR/t Papier und 0,2 EUR/m^3 Prozesswasser berechnet. Die spezifischen Kosten einschließlich Kapital- und Betriebskosten betragen insgesamt 1,8 EUR/t Papier bzw. 0,7 EUR/m^3 Prozesswasser.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Papierfabriken zur Herstellung von Wellenstoff und Testliner liegen manchmal an Flüssen, die zur Trinkwasserversorgung herangezogen werden oder an kleinen Gewässern, die zu Zeiten niedrigen Abflusses gegenüber unakzeptablen Schmutzfrachten empfindlich sind. Um eine akzeptable Qualität des Flusswassers zu garantieren, schreiben die lokalen Behörden strenge Emissionsstandards vor, die auf der Grundlage der Wasserqualitätsziele für den Fluss basieren. In einigen Fällen können die Papierfabriken diese Einleitungsstandards mittels end-of-pipe-Abwasserbehandlung nicht erfüllen. Deshalb müssen sie den Wasserkreislauf vollständig schließen. Allerdings hat das Schließen des Wasserkreislaufs negative Auswirkungen auf die Papierqualität und den aus den Papiermaschinen freigesetzten Dampf. Um ein Ansteigen des Salzgehaltes, der Wasserhärte und der Konzentration an geruchsintensiven flüchtigen Fettsäuren zu vermeiden, kann die integrierte biologische Prozesswasserbehandlung eine geeignete Maßnahme darstellen. Dennoch sind weitere Untersuchungen zur Lösung des Problems der Calciumcarbonatfällung und einiger anderer Randprobleme notwendig.

Anlagenbeispiele: Assi Domaen Packaging Lecoursonnois Paper Mill, Mennecy/Frankreich; Zülpich Papier - Recycled Paper Europe, Zülpich/Deutschland; Tillmann, Deutschland

Literatur:
[Nivelon, 1997], [UBA-Report 7041, 1996], [Diedrich, 1997]

5.3.5 Anaerobe Techniken als erste Stufe der biologischen Abwasserbehandlung

Diese Technik muss bei der Bestimmung der BVT, hauptsächlich für "Braunpapiere", die aus Altpapieren hergestellt werden, betrachtet werden. Allerdings kann die anaerobe oder kombinierte anaerobe/aerobe Abwasserbehandlung theoretisch auch für deinkte Sorten eingesetzt werden, da die Anwendbarkeit hauptsächlich vom CSB-Gehalt des Abwassers abhängt. Aber für deinkte Papiersorten sind die praktischen Erfahrungen sehr begrenzt.

Beschreibung der Technik: Die umfassende Schließung der Wasserkreisläufe in Papierfabriken, die Altpapier verarbeiten, führt zu hohen Konzentrationen an gelösten organischen Stoffen im Prozesswasser. Deshalb ist das Prozesswasser vor seiner Einleitung in Gewässer durch biologische Behandlung zu reinigen. Mit einer Kombination aus anaerober und aerober biologischer Behandlung kann eine beträchtliche Reduktion der

organischen Abwasserbelastung erreicht werden. Ein vereinfachtes Fließbild für eine kombinierte anaerobe/aerobe Abwasserbehandlungsanlage ist in Abbildung 5.14 dargestellt.

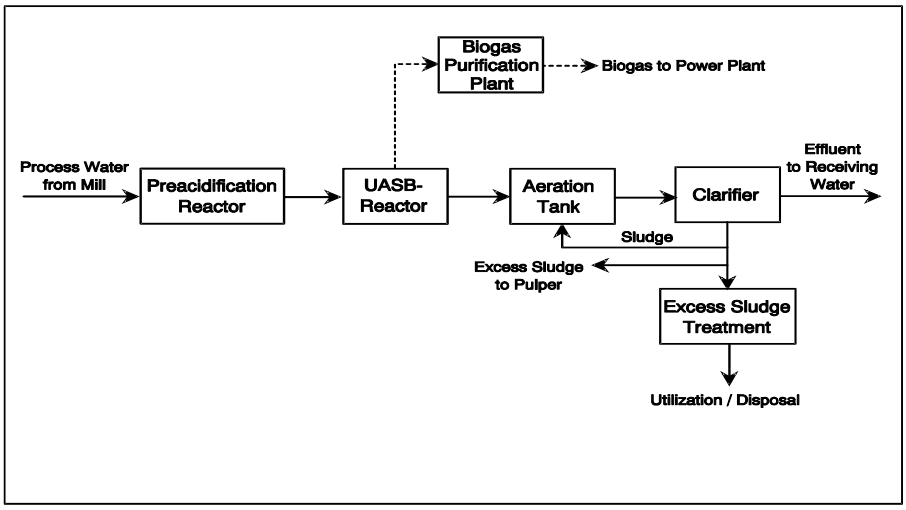


Abbildung 5.14: Vereinfachtes Fließschema für eine kombinierte anaerobe/aerobe Abwasserbehandlungsanlage [IFP, 1998]
Aeration Tank = Belüftungs-/Belebtschlammbecken; Biogas Purification Plant = Biogasreinigungsanlage; Biogas to Power Plant = Biogas zum Kraftwerk; Clarifier = Nachklärbecken; Effluent to receiving water = Abwassereinleitung ins Gewässer; Excess Sludge Treatment = Überschussschlammbehandlung; Excess Sludge to Pulper = Überschussschlamm zum Stofflöser (Pulper); Preacidification Reactor = Vorversäuerungsreaktor; Process Water from Mill = Prozesswasser aus der Fabrik; Sludge = Schlamm; UASB-Reactor = UASB-Reaktor; Utilization / Disposal = Verwertung / Entsorgung

Als Anaerobreaktoren können folgende Systeme eingesetzt werden:

- Kontaktreaktor
- UASB-Reaktor (Schlammbettreaktor)
- Festbettreaktor
- Wirbelbettreaktor.

Der Hauptzweck der verschiedenen Reaktorkonzepte besteht in der Sicherstellung hoher Biomassekonzentrationen innerhalb der Reaktoren. Dies wird entweder durch Rückführung ausgewaschener Biomasse nach Sedimentation in einem externen Abscheider (Kontaktreaktor-system) oder durch Fixierung der Biomasse an ein Trägermaterial innerhalb des Reaktors (Festbettreaktor, Wirbelbettreaktor, UASB-Reaktor) bewerkstelligt. Die Reaktoren können als einzelne Einheiten oder in Kombination verschiedener Moduleinheiten betrieben werden. Reaktorsysteme, die mit Biomasse Trägermaterial betrieben werden, sind speziell für hohe CSB-Belastungen geeignet. Das Biogas, das hauptsächlich aus einer Mischung aus Methan und Kohlendioxid besteht, fällt beim anaeroben Abbau der Prozesswasserinhaltsstoffe an und kann nach Entschwefelung als Energiequelle genutzt werden. Im Vergleich zur aeroben Abwasserbehandlung fällt beim anaeroben Abbauprozess viel weniger Biomasse an.

Allerdings können mit der anaeroben Abwasserbehandlung die Anforderungen für die CSB- und BSB-Konzentration im abzuleitenden Abwasser nicht eingehalten werden. Die anaerobe Behandlung wird deshalb normalerweise nicht als alleinige Behandlungsstufe eingesetzt. Die Abwässer aus den anaeroben Systemen werden immer in einer aeroben biologischen Stufe nachbehandelt.

Für eine wirtschaftliche Anwendung der anaeroben Techniken als erste Stufe einer biologischen Abwasserbehandlung sollte die CSB-Konzentration des Prozesswassers nicht unter 2000 mg O_2/l liegen. Papierfabriken, die „braune Papiersorten“ auf einem niedrigen Frischwasserverbrauchs-niveau herstellen, erreichen leicht diese CSB-Konzentration. Papierfabriken, die deinkte Sorten herstellen, können diese Konzentration auch ohne irgendeine Behandlung erreichen. Dennoch gibt es nur wenige Beispiele für die anaerobe/aerobe Abwasserbehandlung bei Fabriken zur Herstellung von deinkten Papiersorten [Driessen]. Der anaerobe Abbauprozess könnte dann durch gelöste Sulfate gestört werden, wenn die Konzentrationen 1000 mg/l

überschreiten, weil im Laufe des anaeroben Prozesses Sulfat in Schwefelwasserstoff (H_2S) überführt wird, das für anaerobe Mikroorganismen toxisch ist. Normalerweise wird ein toxisches Niveau nicht erreicht.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Wenn in einer bestehenden Anlage eine anaerobe Stufe einer aeroben Behandlung vorgeschaltet wird, kann die erforderliche Kapazität der aeroben Behandlungseinrichtungen reduziert werden. Grundsätzlich treten bei der Erweiterung einer bereits bestehenden aeroben Behandlungsanlage durch eine vorgeschaltete anaerobe Stufe keine Probleme auf, wenn die Prozesswasserzusammensetzung, die CSB-Fracht und der Sulfatgehalt für eine anaerobe Behandlung geeignet sind. Die Nachrüstung einer anaeroben Vorbehandlungsstufe ist eine übliche Maßnahme, wenn die aerobe Stufe ihre maximale Kapazität erreicht hat und möglicherweise überlastet ist.

Kombinierte anaerobe/aerobe Abwasserbehandlungsanlagen müssen zunächst einmal als end-of-pipe-Techniken betrachtet werden. Allerdings kann die biologische Behandlung bei Berücksichtigung der Bemühungen zur Reduzierung des Einsatzes von chemischen Additiven (z.B. Reinigungsmittel, Entschäumer, Schleimbekämpfungsmittel) zum Papierherstellungs-system zum Schutz der empfindlichen anaeroben Mikroorganismen in der Behandlungsanlage auch (zum Teil) als prozessintegrierte Umweltschutzmaßnahme betrachtet werden.

Einige Papierfabriken führen Versuche zur Rückführung eines Teilstromes des biologisch behandelten Prozessabwassers zurück in den Wasserkreislauf durch. Die Hauptprobleme, denen sie begegnen müssen, bestehen in der Anreicherung von Chloriden, Sulfaten und Calcium im Prozessabwasser, was Korrosion und Calciumcarbonatausfällungen und Belagbildungen in Rohrleitungen, Sieben und Filzen verursacht. Die Ausfällung von Calciumcarbonat ist ein komplexes Problem, für das in der Zukunft weiterer Untersuchungsbedarf besteht.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Reinigungsleistungen in Anaerobreaktoren hängen vom Anlagenkonzept und den Betriebsbedingungen ab. Typische Reinigungsleistungen liegen im Bereich von 60 – 85 % für den CSB und 85 - 95 % für den BSB. Die gesamte Reinigungsleistung für Kombinationen aus anaeroben und aeroben Techniken liegt im Bereich von 95 – 97 % für den CSB und 99,0 – 99,8 % für den BSB. Die organische Belastung des Abwassers wird auf 0,5 – 1,5 kg O_2/t Papier bzw. auf 0,02 – 0,1 kg O_2/t Papier reduziert.

Eine deutsche Fabrik zur Herstellung von Papier auf 100%iger Altpapierbasis (ohne Deinking) berichtete eine Verbesserung der Reinigungsleistung durch den Einsatz einer kombinierten anaeroben/aeroben Behandlung im Vergleich zu einer zweistufigen aeroben Behandlung. Folgende Jahresmittelwerte wurden erreicht:

Parameter	Einheit	2-stufige aerobe Behandlung	Anaerobe/aerobe Behandlung
CSB-Konzentration	mg O_2/l	290	190
BSB_5-Konzentration	mg O_2/l	21	12
CSB-Fracht	kg O_2/t	0,93	0,68

Tabelle 5.22: Jahresmittelwerte für das behandelte Abwasser aus einer Fabrik zur Herstellung von Papier und Karton aus 100% Altpapier ohne Deinking

In kombinierten anaeroben/aeroben Behandlungsanlagen beträgt der Energiebedarf, bezogen auf eine Tonne entfernten CSB (hauptsächlich für das Pumpen und die Belüftung), ca. 200 - 300 kWh, während in alleinigen und gut bemessenen Aerobanlagen der Energiebedarf für 1 Tonne entfernten CSB bei 500 - 600 kWh liegt.

Die Menge an anfallendem Biogas aus dem anaeroben Abbau liegt im Bereich von 400 bis 600 m³/t entfernten CSB. Der Methangehalt schwankt im Bereich von 65 – 75 %. Da der Heizwert von Methan 35,7 MJ/m³ beträgt, liegt die aus der thermischen Verwendung des Biogases in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage resultierenden Energiemenge im Bereich von 1900 – 2900 kWh/t entfernten CSB; dabei wird ein Wirkungsgrad des Kraftwerkes von 75 % angenommen. Die energetische Verwertung des Biogases deckt nicht nur den gesamten Energiebedarf der anaeroben/aeroben Behandlungsanlage. Ein Teil der anfallenden Energie (ca. 70 - 80%) kann für den Papierherstellungsprozess verwendet werden.

Messung der Emissionen: Der wichtigste Parameter zur Überwachung der Leistungsfähigkeit von anaeroben und aeroben Abwasserbehandlungstechniken ist der CSB, der meistens täglich bestimmt wird. Für anaerobe Systeme ist die Biogasbildungsrate, die kontinuierlich mittels einem Gasdurchflussmesser bestimmt wird, ein anderer wichtiger Überwachungsparameter sowie die kontinuierliche Messung des CO_2-, CH_4-, und H_2S-Gehaltes des Biogases.

Verlagerungseffekte: Die anaerobe Vorbehandlung trägt zu einer beträchtlichen Reduktion des Überschussschlammanfalls bei. Im Vergleich zur alleinigen aeroben Abwasserbehandlung reduziert sich in einer kombinierten anaeroben/aeroben Behandlungsanlage der Biomasseanfall um 70 bis 80 %. Die externe Schlammentsorgung kann durch Rückführung des Überschussschlammes in den Papierproduktionsprozess vermieden werden. Allerdings ist die Rückführung von Überschussschlamm in den Papierherstellungsprozess nur in spezifischen Fällen anwendbar. Der Anteil des Schlammes am Rohstoffinput beträgt weniger als 1 %. Nach der Entschwefelung kann das anfallende Biogas als Brennstoff zur Substitution von fossilen Brennstoffen in betriebsinternen Kraftwerken eingesetzt werden.

Angaben zum Betrieb: Kombinierte anaerobe/aerobe Behandlungsanlagen sind seit 1990/91 in Betrieb. Im Vergleich zu alleinigen aeroben Behandlungsanlagen haben sie sich im Hinblick auf wechselnde CSB-Belastungen und toxischen oder hemmenden Stoffen im Prozesswasser als stabilere Systeme erwiesen. Die Verfügbarkeit der Anlagen beträgt nahezu 100 %.

In anaeroben Systemen, besonders in Festbettreaktoren, können Konzentrationen an gelösten Stoffen von über 200 mg/l Probleme hervorrufen. In einigen UASB-Reaktoren wurde eine langsame Desintegration der Biomassepellets festgestellt. In diesem Fall kann die Biomasse durch neue Pellets von anderen UASB-Reaktoren zur Aufrechterhaltung eines effizienten Reaktorbetriebes ersetzt werden. Die anaerobe Vorbehandlung reduziert die Neigung der Blähschlammentstehung in der nachfolgenden Aerobstufe. Der in der aeroben Stufe anfallende Überschussschlamm kann ohne Probleme in den Papierproduktionsprozess zurückgeführt werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für kombinierte anaerobe/aerobe Abwasserbehandlungsanlagen schwanken in Abhängigkeit von der spezifischen CSB-Belastung und der Abwassermenge in einem weiten Bereich. Unter der Annahme einer CSB-Fracht von 20 - 35 t O_2/d, die einer Jahresproduktion von Wellenstoff und Testliner in Höhe von 200000 bis 350000 t entspricht, liegen die Investitionskosten im Bereich von 7 bis 12 Mio. EUR.

Berücksichtigt man die Nettoenergieeinsparungen durch die Verwendung des anfallenden Biogases als Brennstoff, liegen die jährlichen Betriebskosten einschließlich der Chemikalien und Betriebsmittel, Abfallentsorgung, Personal und Unterhaltung im Bereich von 0,6 – 1,0 EUR/t Papier.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Der wichtigste Grund für die Installierung kombinierter anaerober/aerober Systeme für die biologische Prozesswasser-behandlung war die im Vergleich zu einer alleinigen aeroben Behandlungsanlage verbesserte Betriebsstabilität im Hinblick auf die Schwankungen der CSB-Belastung. Ein anderer Anreiz war der Anfall von Biogas und seine Verwendung als Brennstoff in Kraftwerken. Die energetische Verwertung des Biogases deckt nicht nur den Energiebedarf für die anaerobe/aerobe Behandlungsanlage. Es gibt einen Energieüberschuss, der im Produktionsprozess eingesetzt werden kann. Bei Einsatz kombinierter anaerober/aerober Techniken anstelle einer einstufigen oder zweistufigen aeroben Technik vermindert sich der Schlammanfall um 70 – 80 %. Diese Tatsache ist für Papierfabriken von besonderem Interesse, die keine eigenen Einrichtungen zur energetischen Nutzung des Überschlammes haben oder die den Schlamm nicht in den Produktionsprozess zurückführen und deshalb eine teuere externe Entsorgung bereithalten müssen.

Anlagenbeispiele: In zahlreichen europäischen Papierfabriken zur Herstellung von Testliner und Wellenstoff werden anaerobe Anlagen als erste Stufe der Abwasserbehandlung betrieben. Ungefähr 12 Anlagen sind in Deutschland installiert, von denen neun auf dem UASB-System basieren und zwei mit Festbettreaktoren und eine mit einem Kontaktreaktor ausgerüstet sind.

Literatur:
[Koepp-Bank, 1991], [Hamm, 1991], [Driessen], [IFP, 1998]

5.3.6 Aerobe biologische Abwasserbehandlung

Es wird auch auf 6.3.9 verwiesen.

Beschreibung der Technik: Für Abwässer aus Altpapierfabriken wird seit über 20 Jahren die aerobe biologische Abwasserbehandlung zur Entfernung von sauerstoffzehrenden organischen Stoffen und spezifischen organischen Stoffen eingesetzt. Diese Stoffe werden durch verschiedene Varianten biologischer Behandlungssysteme in Biomasse, Kohlendioxid und Wasser umgewandelt. Niedrig belastete aerobe Belebtschlammsysteme sind weit verbreitet im Einsatz. Der Nährstoffgehalt im Abwasser aus Altpapierfabriken ist im Allgemeinen niedrig. Deshalb ist zur Sicherstellung eines effizienten Betriebes des biologischen Systems die kontrollierte Zugabe von Phosphor und Stickstoff notwendig. Um Eutrophierungsprobleme in den Griff zu bekommen, sollte die Überdosierung von Nährstoffen und unnötige Nährstoffemissionen vermieden werden.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Maßnahme ist sowohl für neue als auch für bestehende Fabriken anwendbar.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die erreichbaren Reinigungsleistungen liegen für den BSB_5 im Bereich von 95 – 99 % und für den CSB im Bereich von 75 – 90 %. Die erreichbaren Abwasserwerte für niedrig belastete Belebtschlammanlagen sind in Tabelle 5.23 zusammengefasst.

Parameter	**Erreichbare Konzentrationen und Frachten für Altpapier-fabriken mit Deinking**		**Übliche Reinigungs-leistung [%]**
	mg/l	kg/t	
BSB_5 nach Behandlung	< 20 (bis zu 5)	0, 21	95 - 99
CSB nach Behandlung	< 230	2,3	80 - 85
Abfiltrierbare Stoffe	< 30	0,2	99
Spezifische Abwasser-menge	11 m^3/t		

Tabelle 5.23: Reinigungsleistung und gemessene Abwasserwerte von Belebtschlammanlagen mit niedriger Schlammbelastung zur Behandlung von Abwasser aus deutschen Fabriken zur Herstellung von Papier und Karton aus Altpapier mit Deinking [Dutch notes on BAT, 1996]

Die Reinigungsleistung der kombinierten anaeroben/aeroben biologischen Behandlung ist gewöhnlich etwas höher (siehe 5.3.5). Die Reinigungsleistung für den BSB_5 liegt insgesamt über 99 % und für den CSB über 95 %. Bis heute ist aber die Anwendung der anaeroben Behandlung hauptsächlich auf Altpapierfabriken ohne Deinking beschränkt. In den Niederlanden wird das Abwasser von drei Altpapier verarbeitenden Fabriken gleichzeitig mittels eines anaeroben/aeroben Behandlungssystems behandelt. Eine dieser Fabriken beinhaltet eine Deinkinganlage. Es gibt allerdings viel versprechende Laborversuche für die Anwendung einer kombinierten anaeroben/aeroben biologischen Behandlung auch für Deinkinganlagen.

Das Recycling von einem Teil des Wassers nach biologischer Behandlung scheint möglich zu sein. Mindestens eine Fabrik zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier auf Basis von 100% Altpapier setzt 10% des behandelten Abwassers (Belebtschlamm + Sandfilter) wieder in der Papierfabrik ohne Probleme ein.

Emissionsmessung: Die wichtigsten Abwasserparameter werden gewöhnlich täglich oder mindestens ein paar Mal die Woche bestimmt. Zusätzliche Messungen zur Überwachung des Belebtschlammsystems sind erforderlich, wie z.B. der O_2-Gehalt, der Schlammindex, die Abwassermenge und die Untersuchung des Belebtschlammes.

Verlagerungseffekte: Im Zuge der aeroben Abwasserbehandlung fällt Überschussschlamm an, der eingedickt, entwässert und weiter behandelt werden muss. Ein üblicher Wert für Belebtschlammanlagen liegt bei 0,6 kg Überschussschlamm als Trockensubstanz/kg $BSB_{5eliminiert}$, der im Laufe der Behandlung anfällt. So können in Abhängigkeit von der Qualität des Altpapiers und von der Verfahrenskonzeption ca. 10 kg Überschussschlamm aus der biologischen Behandlung je Tonne Papier (auf Trockensubstanzbasis) erwartet werden.

Zur Belüftung der aktiven Biomasse (Belebtschlamm) und für die Pumpen ist elektrische Energie erforderlich.

Der spezifische Energieverbrauch für den Abbau/die Elimination von 1 kg BSB_5 beträgt 0,6 - 3 kWh/kg $BSB_{5eliminiert}$. Bei einem gut konzipierten System können Werte von < 1 kWh/kg $BSB_{5eliminiert}$ erreicht werden [Möbius, 1997]. Dieser Wert kann auch für den Vergleich der zu erwartenden Betriebskosten von verschiedenen Abwasserbehandlungssystemen benutzt werden.

Besonders in den Sommermonaten können aus der Abwasserbehandlungsanlage von Altpapier verarbeitenden Fabriken belästigende Gerüche emittiert werden. Wenn die Abwasserbehandlung sorgfältig bemessen und überwacht wird, können belästigende Gerüche vermieden werden.

Betriebserfahrungen: Die aerobe biologische Behandlung von Abwässern aus Altpapierfabriken ist seit über 20 Jahren erfolgreich im Einsatz. Das Phänomen von Blähschlamm muss gemeistert werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Angaben zu den Kosten sind nur für integrierte Papierfabriken, die Papier auf Basis von Holzstoff herstellen, verfügbar. Das Abwasserbehandlungssystem ist vergleichbar mit demjenigen, das für die Behandlung des Abwassers aus der Altpapieraufbereitung angewendet wird. Deshalb können die Kostenangaben ein grobes Bild dafür geben, in welchem Bereich die Kosten erwartet werden können. Für eine neue integrierte Holzstoff- und Papierfabrik mit einer Produktion von 1000 t/d belaufen sich die Investitionskosten für eine vollständig neue Belebtschlammanlage auf ungefähr 13,0 – 15,5 Mio. EUR. Diese Kosten beinhalten auch die notwendige Primärbehandlung und die Schlammbehandlung. Die entsprechenden Betriebskosten betragen 1,2 – 1,5 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Viele Mitgliedsstaaten haben für die Abwässer aus Papierfabriken Anforderungen festgelegt, für die die biologische Behandlung für diese Branche allgemein als BVT angesehen wird. Als Folge davon mussten die meisten Papierfabriken auf Basis von Altpapier Belebtschlammsysteme oder andere Behandlungssysteme mit vergleichbaren Reinigungsleistungen errichten.

Anlagenbeispiele: In europäischen Papierfabriken zur Herstellung von Papier auf Basis von deinktem Altpapier werden zahlreiche aerobe Abwasserbehandlungsanlagen betrieben.

Literatur:
[Dutch notes on BAT, 1996], [Möbius, 1997b], [CEPI, 1997b]

5.3.7 Modernisierung der Faserstoffaufbereitungsanlagen mit verringertem Stromverbrauch und verringerten Emissionen

Die folgende Beschreibung gilt hauptsächlich für Altpapierfabriken *ohne* Deinking, wie z.B. Papierfabriken zur Herstellung von Ausgangsmaterial für die Wellpappenherstellung (Testliner, Wellenstoff). Allerdings sind die Grundzüge für alle altpapierverarbeitenden Fabriken gültig. Fabriken mit Deinkingstufen können in den Deinkinganlagen zusätzliche Alternativen haben.

Beschreibung der Technik: Es kann verschiedene Zielsetzungen für die Modernisierung der Konzepte für Faserstoffaufbereitungsanlagen geben. Sie hängen von den Prioritäten einer bestehenden Firma ab, wie die bessere Entfernung von kleineren Verunreinigungen und Schmutzstoffen zur Verbesserung der Produktqualität und der Effizienz der Papiermaschine, die höhere Rückgewinnung von Fasern aus Rejekten zur Reduzierung der Faserverluste oder die Energierückgewinnung. Ein anderes Ziel kann die Vereinfachung des Faserstoffaufbereitungs-systems sein, die zu geringerem Energieverbrauch, zu geringeren Materialverlusten und zu geringerem Platzbedarf führen. Zur Vereinfachung der Faserstoffaufbereitung, besonders für

Braunpapiersorten, werden die Möglichkeiten zum Weglassen von energieverbrauchenden Dispergier- und herkömmlichen Reinigungsstufen diskutiert. Im Gegensatz dazu können aufwendige Verfahrenskonzepte mit einer höheren Anzahl an Prozessstufen zur Herstellung von Papier für spezielle Zwecke oder zur Erfüllung von Kundenbedürfnissen (Hochqualitäts-produkte) zum Einsatz kommen.

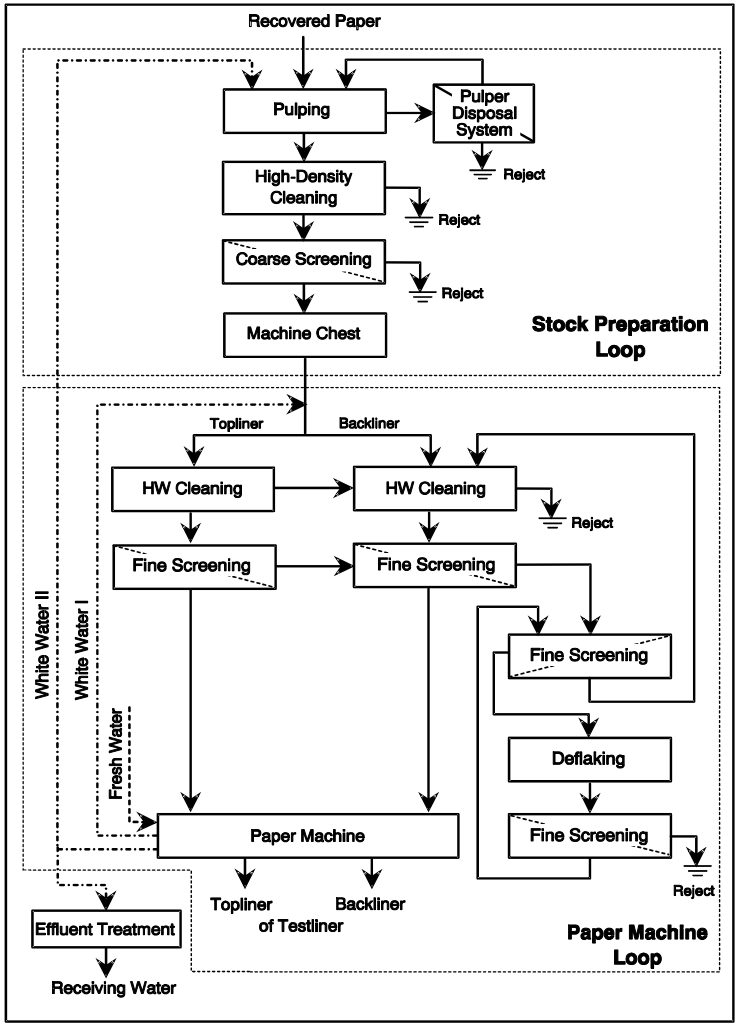
Die Verarbeitung von Altpapier zielt in erster Linie auf die Entfernung von nichtfasrigen Komponenten (z.B. Kunststoffe, Metall, Holz, Sand) und die Elimination von schädlichen Stoffen, wie klebende Verunreinigungen, Wachs oder kleine Teile von nicht desintegriertem Papier (Stippen) in nassfestem Papier ab. Die zweite Zielsetzung der Faserstoffverarbeitung ist die Behandlung der Fasern selbst, um die Qualität des hergestellten Papiers zu gewährleisten. Für die Erreichung dieser Zielsetzung können die Fasern in langfasrige und kurzfasrige Anteile fraktioniert und weiter behandelt werden. Z.B. verbessert das wenig intensive Mahlen das Bindevermögen von Recyclingfasern, was zu verbesserten Festigkeitseigenschaften des hergestellten Papiers führt; das Dispergieren verbessert die optische Gleichmäßigkeit des Papiers.

Für jede spezielle Behandlung von recycliertem Halbstoff werden Spezialmaschinen auf verschiedene Art und Weise eingesetzt. So müssen Sortier- und Reinigungsprozesse in zwei bis vier Stufen zur Reduzierung der Faserverluste in der letzten Stufe jedes Prozesses betrieben werden. Zur Realisierung eines hinreichend wirtschaftlichen Betriebs der Papiermaschine ist es zudem essenziell, zusätzliche Cleaner und Sortierer im konstanten Teil zu betreiben. Dies verhindert Ablagerungen, die sich von Büttenwänden oder aus Rohrleitungen lösen und in den Stoffauflauf und die Nasspartie der Papiermaschine gelangen. Diese Ablagerungen würden zu Bandabrissen und Ausfallzeiten der Maschine führen.

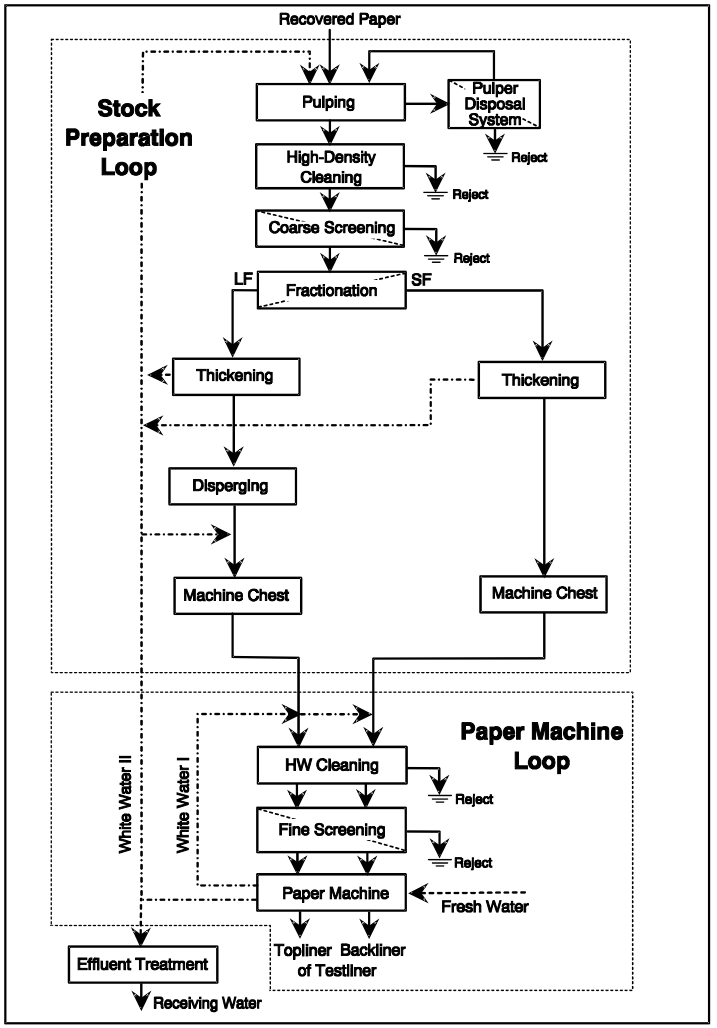
Es muss ein Gleichgewicht zwischen der Reinheit des Dickstoffs, den Faserverlusten, dem Energiebedarf und den Kosten, die zu einem bestimmten Grad von der hergestellten Papierqualität abhängen, gefunden werden.

Im Folgenden werden einige unterschiedliche technische Varianten für Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen einschließlich ihrer wichtigsten Vor- und Nachteile hervorgehoben. Die Auswirkungen auf den Strombedarf werden angedeutet.

Abbildung 5.15 gibt vier Beispiele für Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen zur Verarbeitung von Altpapier für die Herstellung von zweilagigem Testliner. Diese Papiersorte wird wegen ihrer großen mengenmäßigen Bedeutung für die Papier- und Kartonfabriken in Europa und wegen der leichten Verfügbarkeit von Informationen als Beispiel herangezogen. In Tabelle 5.24 sind für diese vier Varianten die wichtigsten Charakteristiken zusammengestellt, der Strombedarf zusammengefasst und weitere Erklärungen bezüglich der Auslegung von Stoffaufbereitungsanlagen unterbreitet. Die Angaben für den Elektrizitätsbedarf für die vier verschiedenen Systeme wurden anhand der Werte für den spezifischen Energiebedarf der einzelnen Prozesseinheiten gewonnen, wie sie in der weiter unten aufgeführten Tabelle 5.25 zusammengestellt sind. Sie sollten als realistische Näherungswerte betrachtet werden. Real existierende Anlagen können etwas niedrigere oder etwas höhere Werte aufweisen.

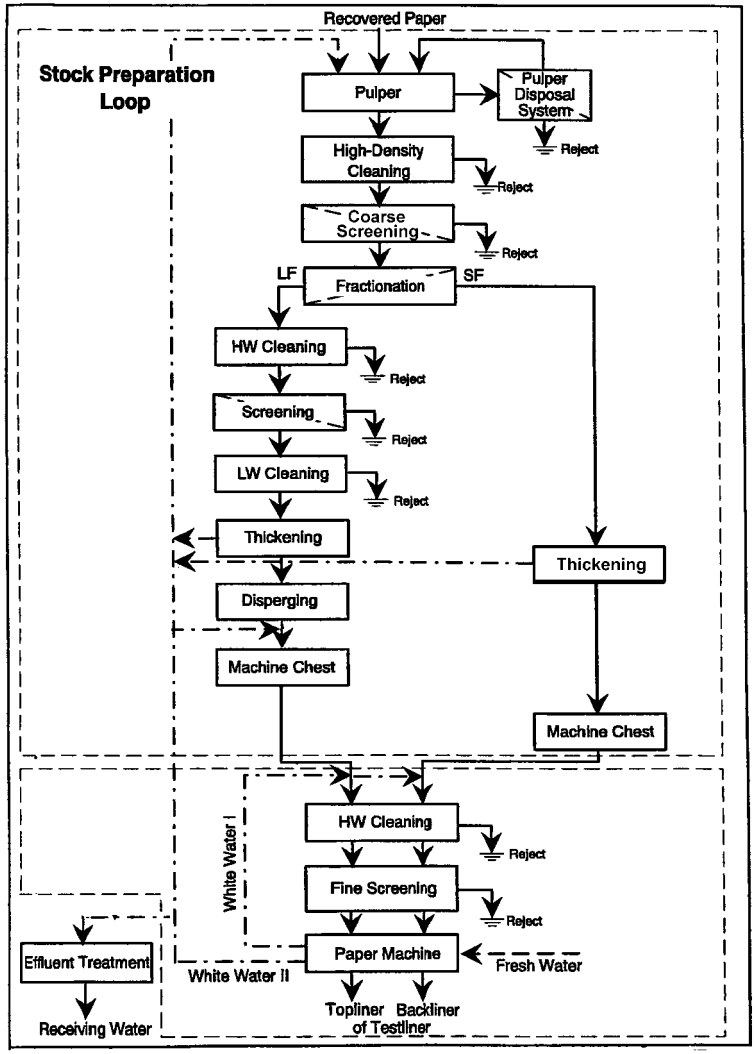


Beispiel 1

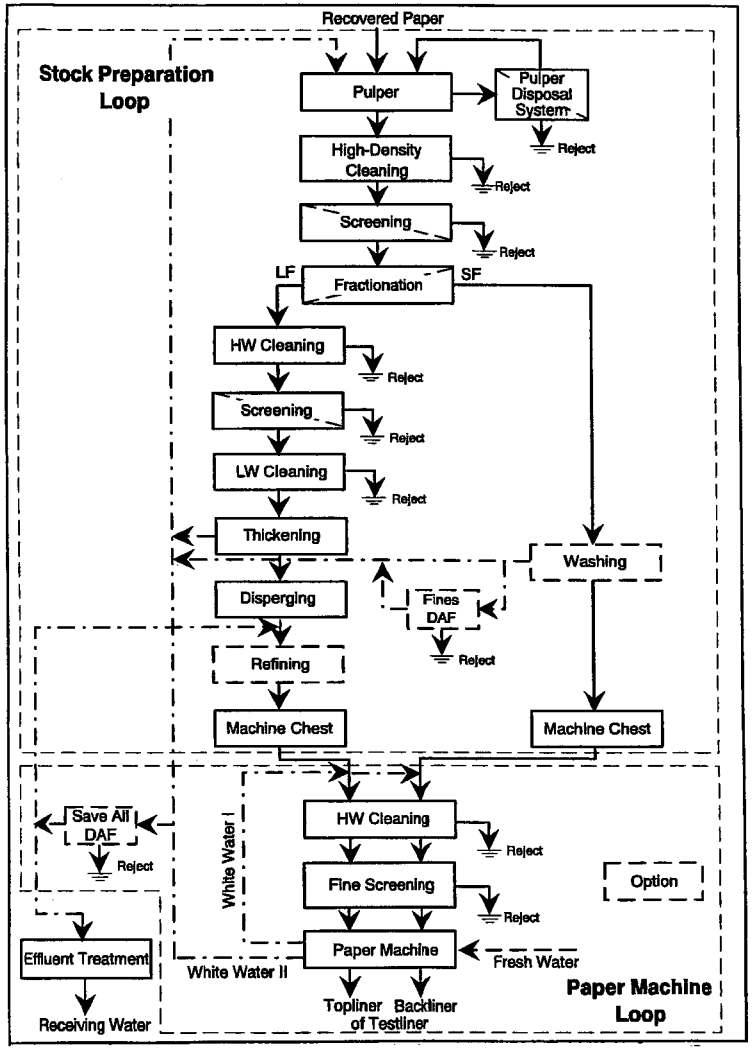


Beispiel 2

Abbildung 5.15: Vier Beispiele für Konzepte für Faserstoffaufbereitungsanlagen für die Verarbeitung von Altpapier zur Herstellung von zweilagigem Testliner [IFP, 1998]



Beipiel 3



Beispiel 4

Abbildung 5.15 (Forts.): Vier Beispiele für Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen zur Verarbeitung von Altpapier zur Herstellung von zweilagigem Testliner [IFP, 1998]

Begriffe für die vier Beispiele in Abbildung 5.15

Backliner = Rückschicht
Coarse Screening = Grobsortierung
Deflaking = Entstippen
Disperging = Dispergierung
Effluent Treatment = Abwasserbehandlung
Fine Screening = Feinsortierung
Fines = Feinstoffe
Fractionating = Fraktionierung
Fresh Water = Frischwasser
High-Density Cleaning = Dickstoffreinigung
HW Cleaning = Schwerschmutzreinigung.
LW Cleaning = Leichtschmutzreinigung
Machine Chest = Maschinenbütte
Option = Option
Paper Machine = Papiermaschine
Paper Machine Loop = Papiermaschinenkreislauf
Pulper Disposal System = Pulperentsorgungssyst.
Pulping = Zerfaserung
Receiving Water = Betroffenes Gewässer
Recovered Paper = Altpapier
Refining = Mahlen
Reject = Rejekt
Save All = Stofffänger
Screening = Sortierung
Stock Preparation Loop = Stoffaufbereitungskreisl.
Testliner = Testliner
Topliner = Deckschicht
Thickening = Eindickung
Washing = Wäsche
White Water = Kreislaufwasser

	Hauptmerkmale der unterschiedlichen Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen	Strombedarf Bereich (Mittelwert)	Erläuterungen
Beispiel 1	Minimierte Reinigung und Sortierung in der Stoffaufbereitungsanlage ohne Fraktionierung und ohne weitere Faserbehandlung, wie Dispergierung und zusätzliche Reinigung und Sortierung. Das Stoffauflaufsystem ist erweitert in Bezug auf Sortierung und Reinigung, um ausreichend sauberen zurückgewonnenen Halbstoff zu erhalten.	45 - 95 (70) kWh/t	Der Halbstoff wird ohne Fraktionierung auf-geteilt und zwei separaten Straßen zur separaten Reinigung und Sortierung mit jeweils unter-schiedlichen Schlitzweiten zugeführt. Die Rejekte der Deckschicht werden zur weiteren Behandlung in die Rückschicht eingeführt. Für die Rückschicht wird ein Entstippungsprozess zur Desintegration von Faserstippen zu individuellen Fasern zum Nutzen der abschließenden Sortiereffizienz und zur Reduzierung der Rejektmengen eingerichtet.
Beispiel 2	Umfasst die Fraktionierung und Dispergierung; nach der Fraktionierung wird die Sortierung und die Leicht- und Schwerschmutzreini-gung der langfasrigen Fraktion angewandt; Kompromiss zwischen minimiertem Energiebedarf durch redu-zierte maschinentechnische Einrichtungen und den Anforderungen an die Endproduktqualität.	65 - 175 (110) kWh/t	Die Fraktionierung wird zur Stromeinsparung in der nachfolgenden energieintensiven Disper-gierung durch Behandlung lediglich eines Teilstromes des zurückgewonnen Halbstoffes (langfasrige Fraktion) durchgeführt. Das Weglassen der Sortierung und der Leicht- und Schwerschmutzreinigung der langfasrigen Fraktion nach der Fraktionierung spart Energie.
Beispiel 3	Zusätzlich zu Beispiel 2 wird nach der Fraktionierung die Sortierung als auch Leicht- und Schwerschmutzreinigung der langfasrigen Fraktion angewandt.	75 - 175 (120) kWh/t	Die Disperger sind mit Stoff hoher Stoffdichte zu beschicken (22-32% Trockensubstanz). Davor ist die Ent-wässerung (Eindickung) z.B. mittels Scheibenfilter, Bandpresse oder Schraubenpresse erforderlich.
Beispiel 4	Die Fraktionierung wird durch zusätzliche Sortierung und Reinigung (schwere und leichte Komponenten) ausgedehnt, optio-nale Mahlung der langfasrigen Fraktion, Wäsche der kurzfasrigen Fraktion und Einsatz der Entspannungsflotation* für die Prozesswasserrückführung	110 - 270 (190) kWh/t (mit allen Varianten)	Durch die Wäsche in Kombination mit der Teilstrombehandlung mittels Entspannungs-flotationssystem zur Entfernung von Feinstoffen und Füllstoffen wird der Fein- und Füllstoff-gehalt des Papiers beherrscht, was zu besseren Festigkeitseigenschaften des hergestellten Papiers führt. Es kann eine Mahlung zur Verbesserung der Bindefähigkeit der Recycling-fasern durchgeführt werden.

Erläuterungen:

* Die Prozesswasserreinigung mittels Entspannungsflotation für die Behandlung eines Teilstromes des Waschfiltrates der kurzfasrigen Fraktion sowie des Papiermaschinenkreislaufwassers II ermöglicht die Entfernung von Feststoffen (Fein –und Füllstoffe) und zu einem gewissen Grad von kolloidalen Stoffen. Die Entfernung von kolloidalen Stoffen hält die organische Belastung des Kreislaufwassers (ausgedrückt als CSB und BSB) in Schranken. Noch wichtiger ist die Beherrschung des Fein- und Füllstoffgehalts des Prozesswassers, was für die Festigkeitseigenschaften des hergestellten Papiers von Vorteil ist. Beide Maßnahmen verbessern die Papierqualität und den wirtschaftlichen Betrieb der Papierm.

Tabelle 5.24: Haupteigenschaften und Strombedarf für verschiedene Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen zur Verarbeitung für die Herstellung von zweilagigem Testliner aus Altpapier. Es werden einige Erläuterungen gegeben, die als hilfreich angesehen werden; die Angaben stammen von [IFP, 1998]

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Erneuerung von Stoffaufbereitungsanlagen sowie des konstanten Teils kann normalerweise in bestehenden Fabriken umgesetzt werden.

Bei einer "Standard"-Stoffaufbereitungsanlage werden üblicherweise mehr Maschinen eingesetzt als dies für eine "Minimal"-Stoffaufbereitungsanlage erforderlich ist (Beispiel 1). Zur Anpassung eines "Standard"-Systems an ein "Minimal"-Konzept ist nur das Abstellen eines Teiles der technischen Einrichtungen notwendig und möglicherweise sind einige neue Rohrleitungen und Pumpen für die Verbindung zur Maschinenbütte

erforderlich. Der konstante Teil muss erweitert werden. Die bestehenden Sortierer des konstanten Teils oder der Stoffaufbereitungsanlage reichen normalerweise wegen der begrenzten Kapazität bei installierten Siebkörben mit einer schmalen Schlitzweite von 0,15 mm nicht aus. Deshalb würden Investitionen für moderne Drucksortierer für das Stoffauflaufsystem notwendig werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Strombedarf für die Stoff-aufbereitung und für den konstanten Teil liegt zwischen 20 und 40 % des gesamten Energiebedarfs einer Altpapierfabrik ohne Deinking. Es ist es deshalb wert, die Optimierung der Stoffaufbereitungsanlage in Bezug auf die Stromeinsparungen in Betracht zu ziehen. Ein verminderter Stromverbrauch führt auch zu einer Reduktion von Abgasemissionen, die von der Art der eingesetzten fossilen Brennstoffe abhängen.

Der Umweltvorteil des Konzeptes 'Beispiel 1' liegt in der Stromeinsparung für die Stoffaufbereitung und für den konstanten Teil. Ein in einer deutschen Papierfabrik installiertes System wird mit einem spezifischen Stromverbrauch von 60 kWh/t Papier betrieben. Zum Vergleich: Der in der nachfolgenden Tabelle 5.25 angegebene Mittelwert für den Strombedarf führt für das in Beispiel 1 angegebene System zu einem Energiebedarf zwischen 45 und 95 kWh/t (Mittelwert 70 kWh/t) Papier.
Im Vergleich zu einem Konzept, bei dem die Sortierung sowie die Leicht- und Schwerschmutzreinigung der langfasrigen Fraktion nach der Fraktionierung durchgeführt wird (Beispiel 3), erhöht sich der Energiebedarf von Beispiel 2 um 10 % bis 20 % (65 kWh/t – 160 kWh/t Papier).
Der wichtigste positive Umwelteffekt, der mit erweiterten Konzepten für Stoffauf-bereitungsanlagen entsprechend Beispiel 4 erreicht wird, ist mit einer hohen Papiermaschineneffizienz verbunden, die zu einem sehr reinen Faserstoff mit verbesserten Festigkeitseigenschaften führt.

Der in Tabelle 5.24 angegebene Strombedarf resultiert aus den Angaben für den spezifischen Energiebedarf von Standardverfahren, die in der nachfolgenden Tabelle 5.25 wiedergegeben sind. Wie zu erkennen ist, sind die Unterschiede beim Strombedarf zwischen den vier Varianten beträchtlich: Beispiel 4 (mit allen Varianten) benötigt zwischen 110 und 270 kWh/t im Vergleich zu 65 und 160 kWh/t Papier in Beispiel 2.

Es darf allerdings nicht vergessen werden, dass eine bessere Papiermaschineneffizienz, die durch saubereren Faserstoff erreicht wird, zu einem niedrigeren spezifischen Strom– und Dampfbedarf für die Papierherstellung führt, da bei Abrissen der Papierbahn die Papiermaschine weiterhin Strom und Dampf verbraucht. Im Gegensatz dazu geht bei Technologien, die mit der Notwendigkeit von häufigen Reinigungsoperationen des Systems (Ausfallzeit) verbunden sind, die Energieeffizienz zurück und die Emissionen erhöhen sich.

Standardverfahren	Spezifischer Energiebedarf kWh/t	Stoffdichte beim Betrieb %
Zerfaserung	10 – 20	3 – 6
Entstippen	20 – 60	3 – 6
Sortieren	5 – 20	0,5 – 4,0
Endstufensortierung	20 – 40	1 – 4
Zentrifugalreinigung	4 – 8	<0,5 ⇒ 4,5 (<6,0)
Fraktionierung	5 – 20	3 – 4
Eindickung	1 – 10	0,5 ⇒ 5 (10)
Entwässerung (Schraubenpresse)	10 – 15	2 – 5 ⇒ 15 – 50
Entwässerung (Doppelsiebpresse)	2 – 4	2 – 5 ⇒ 15 – 50
Dispergieren	30 – 80	22 – 32
Dünnstoffmahlung	5 – 25 (je SR*-Einheit)	3,0 – 5,5
Dickstoffmahlung	10 – 60 (je SR*-Einheit)	25 – 35
Waschen	5 – 20	0,7 – 1,4 ⇒ 5 – 12
Entspannungsflotation	10 – 20	<0,3 ⇒ 0,01
Speichern	0,02 – 0,1	3,0 – 5,5 (12)
Mischen	0,2 – 0,5	3,5 – 4,5
Anmerkungen: ⇒ = Änderung des Stoffdichtebereiches zwischen Zulauf und Ablauf der betreffenden technischen Einrichtungen *SR = Schopper-Riegler-Mahlgrad		

Tabelle 5.25: Spezifischer Energiebedarf und Stoffdichte beim Betrieb für Standardverfahren bei der Herstellung von Wellenstoff und Testliner
[IFP, 1998; Angaben entsprechend denen von Maschinenherstellern]; die Daten beziehen sich auf 100 % Effizienz

Verlagerungseffekte: .
Papiermaschinen, die mit höherer Effizienz betrieben werden, weisen einen niedrigeren Strom- und Dampfbedarf je Tonne Papier auf. Die verbesserte Qualität der Recyclingfasern führt zu verbesserter Papierqualität.
Die Rejekte von den verschiedenen Prozessstufen können getrennt erfasst und für verschiedene Zwecke verwendet werden. Aufgrund ihrer hohen Heizwerte können z.B. Rejekte mit hohen Anteilen an Kunststoffen mit dem Nutzen einer beträchtlichen Energierückgewinnung verbrannt werden. Rejekte mit hohen Gehalten an organischem Fasermaterial können für die Kompostierung verwendet werden. Die Rejekte aus der Dickstoffreinigung sowie vom Pulperentsorgungssystem werden wegen ihres hohen Gehaltes an anorganischen Materialien (z.B. Steine, Sand, Heftklammern, Büroklammern etc.) normalerweise auf einer Deponie entsorgt.

Angaben zum Betrieb: Weltweit produziert eine große Anzahl von Fabriken Testliner mit Fraktionierung und Dispergierung. Manchmal beinhaltet die Stoffaufbereitungsanlage auch das Mahlen. Dennoch gibt es keine völlig gleichen Systeme.

Das in Abbildung 5.15 wiedergegebene Beispiel 1 kann als "Minimal-Konzept" für eine Stoffaufbereitungsanlage angesehen werden. Es wird in einer Fabrik zur Herstellung von Testliner und Wellenstoff (Zülpich Papier – Recycled Paper Europe, Deutschland) betrieben. In Bezug auf die erreichbare Papiermaschineneffizienz und die örtlichen Einschränkungen muss dieses Konzept für die Stoffaufbereitungsanlage als ein Experiment angesehen werden. Wegen der beschränkten Erfahrungsdauer ist es noch nicht möglich, den Erfolg dieses Energieeinsparkonzeptes zu ermitteln. Das System scheint zu leicht erhöhten Faserverlusten zu führen.

Die Sortierung in einem herkömmlichen konstanten Teil bietet vorwiegend Sicherheit gegen unvorhergesehene Verunreinigungen bei niedrigem Unterhaltungsaufwand. Die für eine herkömmliche Faserstoffaufbereitung erforderliche Unterhaltung muss wegen der Halbstoffspeicherkapazität in den verfügbaren Bütten nicht notwendigerweise zu Stillständen der Papiermaschine beitragen. Im Gegensatz dazu erfordert der Einsatz von feingeschlitzten Siebkörben (mit einer Schlitzweite von 0,15 mm) im konstanten Teil zur Erreichung eine ausreichend reinen zurückgewonnenen Faserstoffs (wie in Beispiel 1) eine umfassendere Wartung hinsichtlich der Reinigung. Dies führt zu Papiermaschinenstillständen und Produktionseinbußen. Deshalb ist die

Papiermaschineneffizienz der "Minimal"-Stoffauf-bereitung normalerweise niedriger als bei gut ausgestatteten "Standard"-Stoffauf-bereitungsanlagen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für das Beispiel 2 sind die Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu den Beispielen 3 und 4 niedriger und im Vergleich zu dem in Abbildung 5.15 dargestellten Beispiel 1 höher. Allerdings wurde die Erhöhung von Betriebskosten der Stoffaufbereitungsanlage immer im Licht verbesserter Papiermaschineneffizienz untersucht. Weniger Abfahrvorgänge und Bahnabrisse sowie eine verbesserte Papierqualität sind auch wichtige Faktoren.
Neben den höheren Investitionskosten für die technischen Einrichtungen der "erweiterten" Stoffaufbereitungskonzepte (Beispiel 4) sind erhöhte Betriebskosten im Hinblick auf den Strombedarf der Stoffaufbereitung zu erwarten.
"Minimal"-Stoffaufbereitungskonzepte (wie in Beispiel 1) erfordern relativ niedrige Investitionskosten. Der niedrige Strombedarf reduziert auch die Betriebskosten.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Der wesentliche Grund für die Einführung der Konzepte mit einer höheren Anzahl von Prozessstufen für Stoffauf-bereitungsanlagen sind die hohen zu erfüllenden Qualitätsanforderungen an das Papier, das im Markt mit dem aus Frischfasern hergestellten Papier konkurrieren muss. Ein weiterer Anreiz besteht darin, dass der wirtschaftliche Betrieb der Papiermaschinen verbessert werden sollte. Die Gründe für die Einführung der Konzepte für Stoffaufbereitungsanlagen mit "minimalen" Prozessstufen sind niedrigere Investitions- und Betriebskosten, hauptsächlich durch die Einsparung von Strom als Folge des geringeren Maschineneinsatzes.

Anlagenbeispiele: In Europa sind mehrere Fabriken mit einem dem Beispiel 2 ähnlichen Stoffaufbereitungssystem einschließlich Fraktionierung und Dispergierung ausgerüstet. Allerdings sind die technischen Einrichtungen und die Anzahl der Prozessstufen unterschiedlich und es scheint kein völlig gleiches System zu existieren. Einige Fabriken haben auch eine Entspannungsflotationsanlage für die Prozesswasserbehandlung installiert. Die Kombination mit der Wäsche, wie sie in Beispiel 4 dargestellt ist, ist bislang für die Herstellung von Testliner realisiert worden.

Literatur
[IFP, 1998]: Dieser Bericht enthält viele weitere Literaturhinweise

5.3.8 Bereitstellung von gereinigtem Wasser aus der Altpapierauf-bereitung mit Deinking

Beschreibung der Technik: Die Rückführung von größeren Mengen an Kreislaufwasser in Altpapieranlagen mit Deinking ist nur dann möglich, wenn ein System zur Klärung des Kreislaufwassers vorhanden ist. Die nahezu ausschließlich in der Papierindustrie zur Wasserklärung eingesetzten Systeme basieren auf Sedimentation, Filtration (Scheibenfilter) und Flotation. Die derzeit beste verfügbare Technik ist die Entspannungsflotation. Anionische Störstoffe und Feinstoffe werden durch Zugabe von Additiven zu physikalisch behandelbaren Flocken agglomeriert. Als Flockungsmittel werden hochmolekulare, wasserlösliche Polymere oder anorganische Elektrolyte eingesetzt. Die erzeugten Agglomerate (Flocken) werden anschließend in einem Klärbecken flotiert. Bei der Entspannungsflotation lagern sich an die suspendierten Feststoffe Luftblasen an. Diese Blasen transportieren das Material an die Oberfläche eines runden oder rechteckigen Beckens, von wo sie abgezogen und zur Stoffaufbereitung zurückgeführt werden. Das geklärte Kreislaufwasser wird vom Beckenboden abgeführt (siehe nachstehende Abbildung 5.16).

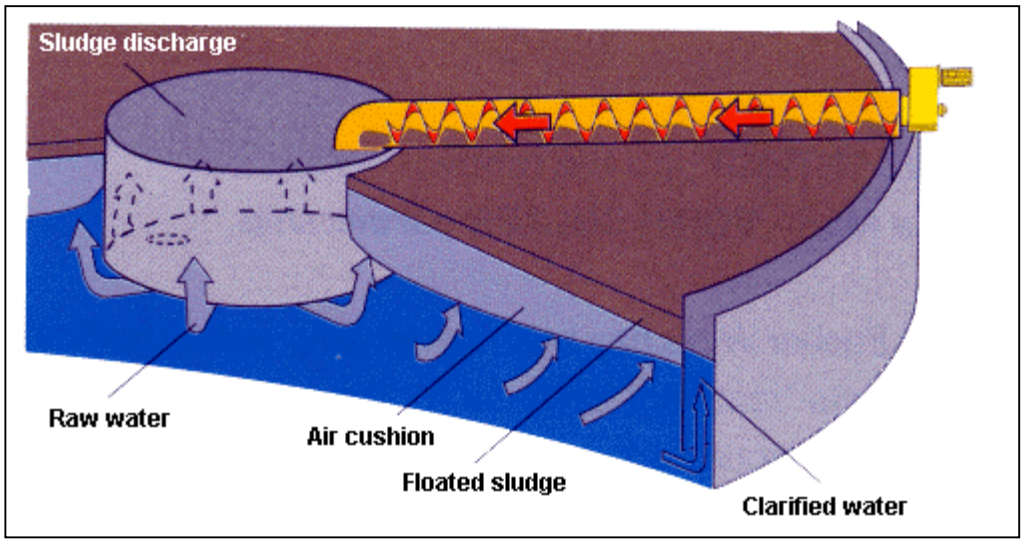


Abbildung 5.16: Betriebsprinzip der Entspannungsflotation [M. Schwarz, 1995]
Air cushion = Luftpolster; Clarified water = geklärtes Wasser; Floated sludge = flotierter Schlamm; Raw water = zu behandeltes Wasser; Sludge discharge = Schlammabführung

In einem Flotationssystem mit rundem Becken werden die Luftblasen durch das Einmischen von Luft in den Kreislaufwasserstrom unter hohem Druck erzeugt. Wenn sich der Druck am Einlauf in das Becken reduziert, entstehen mikroskopisch feine Luftblasen. Die Größe der Blasen ist ein kritischer Punkt. Gewöhnlich werden dem Kreislaufwasser zur Verbesserung der Flockenabtrennung vor der Flotation Flockungsmittel zugegeben.

Der Vorteil der Flotation liegt darin, dass auch kleine kolloidale Stoffe entfernt werden können. Dies ist in Altpapieranlagen mit Deinking ein großer Vorteil, da ein großer Teil der Feststoffe im Prozessabwasser kolloidal vorliegt. Bei Deinkingsystemen ist die Flotation heutzutage der einzige Weg, das Prozessabwasser auf Recyclingqualität zu reinigen. Bei Deinkinganlagen wird das Flotat zur Schlammentwässerung gepumpt, anstelle ihn zum Prozess zurückzuführen wie es in Frischfasern einsetzenden Papierfabriken der Fall ist.

Die Flotationssysteme liefern im Allgemeinen sehr reines Wasser, aber die Effizienz hängt von verschiedenen Faktoren ab, die gemessen und überwacht werden müssen, wie z.B. pH-Wert, Volumenstrom, Luftblasengröße und Gleichmäßigkeit des Zulaufs. Allerdings ist die Effizienz bei optimalen Bedingungen sehr hoch. Ein weiterer Vorteil der Flotation ist die Sättigung des Prozesswassers mit Luft (Sauerstoff), was das Auftreten von anaeroben Bakterien verhindert.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Modernisierung von Wasserklärsystemen wird oft mit der Änderung der Wasserkreislaufsysteme verbunden. Sie kann in neuen und bestehen Altpapierfabriken umgesetzt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Vorteil der Entspannungsflotation liegt darin, dass kleine kolloidale Stoffe entfernt werden können. Dies erweist sich als großer Vorteil bei Altpapieranlagen mit Deinking, bei denen große Teile der Feststoffe im Prozesswasser kolloidal vorliegen. Bei Einsatz der Entspannungsflotation an der geeigneten Stelle innerhalb der Wasserkreisläufe kann der Grad der Wasserkreislaufschließung kontinuierlich an die Anforderungen der Prozesswasserqualität in Abhängigkeit von der Konzentration an anionischen Störstoffen, dem Additivverbrauch und den Produktqualitäts-anforderungen angepasst werden.

Verlagerungseffekte: Als Chemikalien sind Flockungsmittel notwendig. Strom wird hauptsächlich als Pumpenergie zur Sättigung eines Teiles des unbehandelten Wassers oder mit einer entsprechenden Menge von geklärtem Wasser mit Luft, nachdem diese auf einen Druck von 7 bar gebracht wurde, benötigt. Es fällt Flotat an, das entwässert werden muss.

Betriebserfahrungen: Entspannungsflotationssysteme sind ausgereifte Konzepte. Für optimale Ergebnisse können alle Komponenten modulartig miteinander für die unterschiedlichen Anwendungen kombiniert werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Angaben verfügbar**.**

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der Grund für die Modernisierung der Wasserklärsysteme mittels Entspannungsflotation in Deinkinganlagen liegt im benötigten optimalen Wassermanagement und in der erforderlichen Einstellung der Wasserkreislauf-schließung (siehe Figure 5.3 und Figure 5.4).

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa

Literatur:
[CEPI, 1997b], [J. Pöyry, 1994b], [Schwarz, 1995]

5.3.9 Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Beschreibung der Technik: Die Papierindustrie ist eine Branche mit hohem Energieverbrauch. Die erhöhte Geschwindigkeit von Papiermaschinen, hochentwickeltere Systeme zur Altpapierverarbeitung und die technische Entwicklung im Allgemeinen hat zu einem höheren Stromverbrauch in Papierfabriken geführt, während der spezifische Dampfeinsatz praktisch unverändert geblieben ist.

Die Energieverluste bei der Energie- und Wärmeerzeugung können durch die kombinierte Erzeugung sowohl von Wärme und Strom (so genannte Kraft-Wärme-Kopplung) reduziert werden. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erhöhen die Effizienz der Energieumwandlung der eingesetzten Brennstoffe von rund einem Drittel in herkömmlichen Kraftwerken auf rund 80 % (oder mehr). Auf diese Weise ist es für viele Papierfabriken möglich, die Energieeffizienz insgesamt durch Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung zu steigern und so den Brennstoffverbrauch und die Abgasemissionen zu senken. Der Energiebedarf und das Wärme-Strom-Verhältnis in der Papier- und Kartonindustrie sind für den Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung sehr geeignet [Pröger, 1996]. Die Charakteristik der Prozesse weist einen hohen und ausgeglichenen Strom- und Wärmebedarf auf und der gleichmäßige Betrieb über das Jahr gesehen ist auch förderlich.

Viele Papierfabriken haben unterschiedliche Arten von Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen installiert. Z.B. können für gasbefeuerte Kesselhäuser eine oder mehrere Gasturbinen dem bestehenden ergänzend befeuerten Dampferzeuger zur Erreichung einer hohen Stromerzeugung vorgeschaltet werden.

Es gibt am Markt verschiedene Varianten für kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke.

Welches System angewendet wird, hängt hauptsächlich von den bereits in Betrieb befindlichen Kraftwerken und von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Als Beispiel wird die modernere und sehr effiziente kombinierte Gas- und Dampferzeugung kurz beschrieben. Diese Art zeichnet sich durch eine sehr hohe Effizienz und durch die Möglichkeit aus, für die gleiche in der Papierfabrik benötigte Wärmemenge, beträchtlich mehr Strom zu erzeugen als bisherige Dampferzeugungsanlagen. Dort, wo dieses System einsetzbar ist, sollte es als erste Wahl angesehen werden.
Bei der normalen Gasturbinentechnologie wird Umgebungsluft angesaugt und komprimiert. In der Verbrennungskammer werden Brennstoff und Luft vom Gasturbinenkompressor vermischt und die Verbrennung findet statt. Nach der Verbrennung wird das Rauchgas in einer Turbine expandiert, die einen Generator antreibt. In kombinierten Gas- und Dampfkraftwerken wird die im Gasturbinenabgas enthaltene Energie in einem Abhitzedampferzeuger zur Herstellung von Dampf genutzt, der zur zusätzlichen Stromerzeugung mittels einer Dampfturbine eingesetzt wird. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wandeln 80 – 93 % des Energieeinsatzes in 40 – 70 % Wärme und 20 – 45 % Strom in Abhängigkeit von den spezifischen Erfordernissen der Fabrik und dem eingesetzte System um. Herkömmliche Stromerzeuger wandeln etwas weniger als 40 % des Energieeinsatzes in Strom um. Der restliche Energieeinsatz geht verloren.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Die Kraft-Wärme-Kopplung ist eine weit bekannte und gut entwickelte Technik. Sie kann sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken eingesetzt werden, sofern dies die Fabrikkonzeption erlaubt. In bestehenden Anlagen kann die Kraft-Wärme-Kopplung z.B. durch Umrüstung vorhandener Dampfgegendruckeinheiten in kombinierte Gas- und Dampfkraftwerke eingesetzt werden. Die relativ kleine Größe der meisten Fabriken zur Herstellung von Tissue bedingt, dass die Kraft-Wärme-Kopplung für sie weniger Sinn als für große Fabriken macht.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Aufgrund der erhöhten thermischen Effizienz der Kraft-Wärme-Kopplung gehen die Emissionen je Einheit erzeugter Wärme oder Strom beträchtlich zurück. Die Wärmeeffizienz kann insgesamt 93 % erreichen, was die Reduktion der Kohlendioxidfreisetzungsrate im Vergleich zu herkömmlichen Energie-erzeugungssystemen mit einer Effizienz für die Stromerzeugung von ca. 38 % um 50 % reduziert.

In Tabelle 5.26 sind als Beispiel für ein kombiniertes Gas- und Dampfkraftwerk (GuD) die erreichten Brennstoffeinsparungen und Emissionsreduktionsraten für die wichtigsten Schadstoffe zusammengestellt. Dieses Beispiel repräsentiert ein Kraft-Wärme-Kopplungs-prozess, der die höchst mögliche thermische Effizienz erreicht.

In diesem Beispiel wird die Kraft-Wärme-Kopplung (93% Effizienz, bezogen auf den Brennstoffeinsatz) mit der herkömmlichen Stromerzeugung durch ein öffentliches Kohlekraftwerk (40% Effizienz für die Stromerzeugung, Beispiel für deutsche Verhältnisse) und mit einer Dampferzeugung vor Ort (90% thermische Effizienz) verglichen. Dabei ist anzumerken, dass die erreichbaren Verbesserungen von dem System abhängen, mit dem es verglichen wird.

Beispiel für ein Kombikraftwerk, das für eine Dampfproduktion von 40 t Dampf/h ausgelegt ist; die Produktion beträgt ca. 20 t/h Papier					**mg/MJ***
Stromerzeugung insgesamt	MW			9,5	
Wärmeerzeugung insgesamt	MW			26,0	
Strom/Wärme-Verhältnis	MW/MW			0,37	
		Gasturbine	**Ergänzende Feuerung**	**gesamt**	
Kapazität der thermischen Feuerungsleistung	MW	14,8	24,4	38,2	
Abgasvolumenstrom (trocken, Normbedingungen)	m^3/h			48150	
NO_x-Emissionen *	mg/m^3			160	
CO-Emissionen *	mg/m^3			5	
SO_2-Emissionen *	mg/m^3			0	
NO_x-Emissionsmassenstrom	kg/h			7,7	60
CO-Emissionsmassenstrom	kg/h			0,2	1,5
SO_2-Emissionsmassenstrom	kg/h			0	0
CO_2-Emissionsmassenstrom	t/h			7,6	59,5
* der Sauerstoffgehalt im Abgas beträgt 3 %					
360 MW elektrische Leistung eines öffentlichen Kohlekraftwerks – 40 t/h Prozessdampfkapazität					
Anteil der Stromerzeugung	MW			9,5	
Wärmeerzeugung	MW			26	
		Stromerzeugung	**Dampferzeugung**	**gesamt**	
Kapazität der thermischen Feuerungsleistung	MW	25	29	54	
Abgasvolumenstrom (trocken, Normbedingungen)	m^3/h	28500	29200	57700	
NO_x-Emissionen	mg/m^3	300	130		
CO-Emissionen	mg/m^3	250	10		
SO_2-Emissionen	mg/m^3	200	0		
NO_x-Emissionsmassenstrom	kg/h	8,6	3,8	12,3	96
CO-Emissionsmassenstrom	kg/h	7,1	0,3	7,4	58
SO_2-Emissionsmassenstrom	kg/h	5,7		5,7	44,6
CO_2-Emissionsmassenstrom	t/h	8,27	5,8	14,07	110
Erklärung: Es wird angenommen, dass die Kraft-Wärme-Kopplung die Erzeugung der Stromgrundlast ersetzt. In Deutschland wird die Grundlast durch Kohlekraftwerke bereitgestellt. Der Vergleich erfolgt mit einem Kraftwerk mit einer 40%igen Effizienz und einer modernen Entschwefelung und Entstickung und Transmissionsverlusten von 2%. * Berechnung für die Umrechnung der Zahlen in spezifische Werte: 1 MW x 3600 = MJ; z.B. (9,5 + 26,0) x 3600 = 127800 MJ/h; z.B. können die spezifischen NO_x-Emissionen wie folgt berechnet werden: 7700g/h : 127800 MJ/h = 60 mg/MJ					

Tabelle 5.26: Vergleich der Leistung im Hinblick auf den Umweltschutz einer in Betrieb befindlichen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage mit einem öffentlichen Kohlekraftwerk unter deutschen Bedingungen [das Beispiel wurde von F. Hutter GmbH Biberach, Deutschland berechnet]

Für den in Tabelle 5.26 beschriebenen Fall werden durch Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung folgende Reduktionsraten erreicht:

- Brennstoffverbrauch: 29 % Reduktion,
- NO_x: 38 % Reduktion,
- CO: 97 % Reduktion,
- SO_2: 100 % Reduktion,
- $CO_{2,\ fossil}$: 46 % Reduktion.

Emissionsmessung: In größeren Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wird der NO_x- und CO-Gehalt des Abgases kontinuierlich überwacht. Andere Fabriken führen periodische Messungen von NO_x und CO durch.

Verlagerungseffekte: In Bezug auf den Treibhauseffekt werden Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf Basis von Gasturbinen als wichtige Option zur Reduzierung der CO_2-Emissionen wegen ihrer vergleichsweise hohen thermischen Effizienz auch für Einheiten mit relativ kleiner Kapazität (von einigen MW aufwärts) gesehen. Das hohe Strom/Wärme-Verhältnis und die hohe Effizienz bei der Umwandlung der Brennstoffe in Strom und Wärme reduzieren die spezifischen CO_2-Emissionen je produzierter kWh im Vergleich zu herkömmlichen Kraftwerken beträchtlich. Wegen der höheren thermischen Effizienz verringern sich die Emissionen für die Energieerzeugung insgesamt.

Angaben zum Betrieb: Die Kraft-Wärme-Kopplung ist durch Einsatz verschiedener Systeme für die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung in einer Reihe von europäischen Papierfabriken mit gutem Ergebnis im Einsatz. Es sind keine gravierenden Probleme bekannt. Zum Betrieb von Anlagen mit einer großen Kapazität ist qualifiziertes Personal erforderlich.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die erreichbaren Einsparungen und die Amortisationszeit hängen hauptsächlich vom Strompreis und den Brennstoffkosten im betreffenden europäischen Land ab. Die Investitionskosten und die Kosten für Abschreibung und Unterhaltung sind zu berücksichtigen. Für diejenigen Fabriken, die die Kraft-Wärme-Kopplung einsetzen, hat sich diese Maßnahme als kostensparend erwiesen (mit den jeweils gegebenen Energiepreisen). Die spezifischen Investitionskosten für die Umwandlung bestehender Gegendruckdampfeinheiten in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen liegen in der Größenordnung von 1000 EUR/kW.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Mit der Technik wird der Verbrauch an fossilen Brennstoffen, die CO_2-Emissionen (Treibhausgas) und andere bei der Energieerzeugung durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen emittierten Luftschadstoffe beträchtlich reduziert. Die Kraft-Wärme-Kopplung ist oft eine Maßnahme, die sich wirtschaftlich rechnet und die die Fabriken von den externen Stromversorgungsunternehmen unabhängiger macht. Sofern das gesamte Kraft-Wärme-Kopplungspotenzial eines Standortes genutzt wird, übersteigt in den meisten Fällen die Stromerzeugung den Strombedarf. Eine bestimmte mit hoher Effizienz erzeugte Strommenge ist für das öffentliche Netz verfügbar, wenn die generellen Marktkonditionen dafür attraktiv sind.
Es kann auch nachhaltig zu den Verpflichtungen nach dem Kyoto-Protokoll beitragen.

Anlagenbeispiele: Der Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung ist eine weithin bekannte Technik und kommt in zahlreichen Papierfabriken in Europa zum Einsatz.

Literatur
[Rentz, 1996], [Pröger, 1996], [Angaben von einer deutschen Altpapier verarbeitenden Fabrik]

5.3.10 Aufbereitung und Verarbeitung der Rejekte und Schlämme vor Ort (Entwässerung)

Streng genommen gilt diese Technik nur für Fabriken, die "Braunpapiere" aus Altpapieren herstellen. Allerdings ist die Entwässerung eine Umweltangelegenheit für alle Papierfabriken auf Altpapierbasis, wenngleich sie unterschiedliche Mengen und Zusammensetzung an Rejekten und Schlamm haben.

Beschreibung der Technik: Bei der Altpapierverarbeitung ist die Entfernung der Verunreinigungen (hauptsächlich von papierfremden Komponenten) aus der Faserstoffsuspension eine der wichtigsten Prozessstufen. Die Verunreinigungen werden durch mehrstufige Reinigung und Sortierung an verschiedenen Stellen der Stoffaufbereitung entfernt. Bei der Produktion von Wellenstoff und Testliner liegen die Materialverluste in Abhängigkeit von den verarbeiteten Altpapiersorten, der vorhandenen Art der Stoffaufbereitung und der hergestellten Papierqualität zwischen 4 und 8 %. Die anfallenden Rejekte können in schwere, grobe und leichte, feine Rejekte unterteilt werden. Normalerweise weisen diese Rejekte kein stoffliches Recyclingpotenzial auf und werden auf einer Deponie entsorgt.

Von der Wiederverwendung oder schlussendlichen Entsorgung abgesehen, ist die Entwässerung der Rejekte eine essenzielle Stufe der Abfallbehandlung. Für alle üblicherweise angewandten Methoden zur Energierückgewinnung und zur Deponierung ist ein hoher Feststoffgehalt der Rejekte von Vorteil. Heutzutage sind der Zopf sowie die Rejekte aus den Pulperentsorgungssystemen meist nicht Gegenstand einer speziellen Entwässerung. Wegen ihrer Materialzusammensetzung führt der Wasserentzug zu einem Trockensubstanzgehalt von 60 – 80 %. Zur Entwässerung von schweren und groben Rejekten aus der Dickstoffreinigung und der Vorsortierung werden Siebspiralförderer, Vibrationssortierer sowie Schrauben- und Rechenklassierer eingesetzt. Es sind Trockensubstanzgehalte von 60 bis 80 % erreichbar. Der Entwässerung von leichten und feinen Rejekten aus der Reinigung und Feinsortierung unter Einsatz von Sortierern, Endlossieben oder Vibrationssortierer folgt gewöhnlich eine weitere Entwässerung mittels Schraubenpressen. Die erreichbaren Trockensubstanzgehalte liegen im Bereich von 50 bis 65 %.

Der in biologischen Abwasserbehandlungsanlagen anfallende Überschussschlamm wird in den meisten europäischen Papierfabriken zur Herstellung von Wellenstoff und Testliner in der Papierproduktion wieder verwendet. Bezogen auf die Gesamtmenge an eingesetztem Altpapier, beträgt das Volumen des wiederverwendeten Schlammes auf Trockensubstanzbasis weniger als 1 %. Eine solch kleine Menge kann in der Papierproduktion ohne nachteilige Beeinflussung des wirtschaftlichen Betriebs der Papiermaschine und der Papiereigenschaften als Rohstoff eingesetzt werden. In diesem Fall sind Entwässerungseinrichtungen nicht notwendig. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wiederverwendung von Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlungsanlage in der Papierproduktion nicht zu einer Erhöhung der Konzentration an schädlichen Verunreinigungen im hergestellten Papier führt, da der Gehalt an schädlichen Stoffen im Schlamm selbst sehr niedrig ist.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Maßnahme. Einrichtungen zur Rejektentwässerung sind in neuen als auch in älteren Papierfabriken üblich. Die Nachrüstung von effektiveren Entwässerungssystemen ist möglich. Die sich ergebende Erhöhung der hydraulischen Belastung der Abwasserbehandlungs-anlage muss berücksichtigt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: In Abhängigkeit von den Arten der Rejekte und dem Rejektentwässerungssystem kann der Wassergehalt der Rejekte um 40 bis 75% reduziert werden. Im Falle einer Entsorgung der Rejekte auf einer Deponie ist das Risiko der Sickerwassererzeugung minimal. Bei der Mitverbrennung der Rejekte in Kraftwerken oder in Zementdrehrohröfen wird der Energiebedarf für die Verdampfung des Wassers in den Rejekten vermindert. Dies trägt zu einer höheren Energierückgewinnungsrate bei.

Emissionsmessung: Die anfallende Abwassermenge aus den Einrichtungen zur Rejektent-wässerung wird durch Durchflussmengenmesser erfasst. Das entzogene Wasser wird im Allgemeinen dem Prozesswassersystem oder der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt.

Verlagerungseffekte: Die Rejektentwässerung führt zu einem Anstieg der zu behandelnden Wassermenge. Da die Entwässerung im Allgemeinen durch mechanische Kräfte bewerkstelligt wird, entspricht die Verschmutzung des entzogenen Wassers derjenigen des Prozesswassers. Beim Einsatz von Schraubenpressen besteht die Möglichkeit, die Rejekte durch Einblasen von Dampf zu erhitzen, was die Verschmutzung des entzogenen Wassers nachteilig beeinflusst. Dies muss besonders in den Fällen berücksichtigt werden, in denen die Abwasserbehandlungsanlage bereits die maximale Kapazität erreicht hat. Die Eindüsung von Dampf hat einen Verlagerungseffekt auf den Energieverbrauch und die Abgasemissionen.

Angaben zum Betrieb: Die Verfahren zur Rejektentwässerung sind in Papierfabriken seit vielen Jahren mit guten Ergebnissen hinsichtlich der erreichten höheren Trockensubstanzgehalte der Rejekte und der Verfügbarkeit der betreffenden Maschinen im Einsatz. In den letzten Jahren weisen die meisten neuen Installationen zur Erreichung eines hohen Entwässerungseffektes Schraubenpressen als Bestandteil auf.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für die Rejektentwässerung – einschließlich einer Entwässerungstrommel als erste Stufe und einer Schraubenpresse als zweite Stufe – auf einen Trockensubstanzgehalt von 65 % betragen ca. 200000 EUR. Die jährlichen Unterhaltungskosten sollten 25000 EUR nicht überschreiten. Diese Kosten gelten für eine jährliche Rejektmenge von 13000 Tonnen als Trockensubstanz.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Der Grund für die Einführung der Rejektentwässerungsprozesse war die Reduktion der auf einer Deponie zu entsorgenden Abfallmenge. Seitdem die Mitverbrennung von Rejekten zur Energierückgewinnung, z.B. in einer Zementproduktion, zu einer Alternative geworden ist, wird solchen Rejektbehandlungen hohe Priorität beigemessen.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[IFP, 1998], [Borschke, 1997], [Krieger, 1998]

5.3.11 Umweltgerechte Verwertung und Entsorgung der Rückstände

Bezüglich der allgemeinen Aspekte des Abfallmanagements und der Möglichkeiten für das stoffliche Recycling und die Energierückgewinnung in Papierfabriken wird auf Abschnitt 6.3.14 verwiesen.

Die Hauptquellen für feste Abfälle aus Altpapier verarbeitenden Fabriken sind die Stoffaufbereitung, die Prozesswasserklärung und die Abwasserbehandlung (es wird auch auf 5.2.2.6 verwiesen). Zwei Hauptarten von Prozessen sind zu unterscheiden:

In Altpapier verarbeitenden Fabriken *ohne* Deinking (z.B. Testliner, Wellenstoff, Karton) sind die groben Verunreinigungen aus dem Pulperentsorgungssystem, Rejekte aus verschiedenen Sortier- und Reinigungsstufen aus der Stoffaufbereitungsanlage und der Schlamm aus der Abwasserbehandlung die wichtigsten Abfallfraktionen. Die anfallenden Rejekte machen in Bezug auf den gesamten Rohstoffeinsatz 4 bis 10 % aus. Die Rejekte aus der Stoffaufbereitungsanlage für braune Packpapiere ohne Deinking weisen nur ein begrenztes stoffliches Recyclingpotenzial auf, da sie aus einer undefinierten Mischung aus nichtpapierenen Komponenten bestehen, die aus dem Altpapier entfernt werden. Gewöhnlich werden diese Rejekte auf einer Deponie abgelagert. Wegen ihres hohen Heizwertes im Bereich von 22 - 24 MJ/kg Trockensubstanz aufgrund des hohen Kunststoffanteils sind diese Rejekte jedoch für die Energierückgewinnung und damit für den Ersatz von fossilen Brennstoffen geeignet (siehe unten).
Nur für die Rejekte aus den abschließenden Reinigungs- und Sortierstufen des Papiermaschinenkreislaufes gibt es eine Möglichkeit des stofflichen Recyclings, da sie einen niedrigen Gehalt an Kunststoffen und anderen Verunreinigungen aufweisen. Deshalb wird diese Abfallfraktion in einigen Fabriken gesammelt, getrennt entwässert und als Co-Substrat für die Kompostierung von Bioabfall verwendet. Besonders die gegenwärtige Praxis der Kompostierung ist in den Mitgliedsstaaten sehr unterschiedlich. Während einige Länder dazu ermutigen, den Schlamm aus Altpapier verarbeitenden Fabriken zu kompostieren, gibt es andere (z.B. Deutschland), die von der Kompostierung von Abfall aus der Papierproduktion abraten oder sie verbieten.

Altpapier verarbeitende Papierfabriken *mit* Deinking produzieren zusätzlich große Mengen an Deinkingschlamm und oft Schlamm aus der Prozesswasserklärung. Die anfallenden Rejekte und Schlammmengen machen ca. 15 bis 40 % des gesamten Rohstoffeinsatzes aus. In Altpapier verarbeitenden Fabriken zur Herstellung von deinktem Altpapierstoff ist der Deinkingschlamm, der hauptsächlich Kurzfasern, Streichmassen, Füllstoffe und Druckfarbenpartikel enthält, die kritische Abfallfraktion, mit der man fertig werden muss. Üblicherweise wird der meiste Schlamm nach wie vor auf Deponien abgelagert. In wenigen Ländern wird die Verbringung auf landwirtschaftliche Flächen oder die Kompostierung praktiziert, während in

anderen Ländern von dieser Option abgeraten oder verboten wird. In größeren Deinkinganlagen kann der Deinkingschlamm zusammen mit dem Schlamm aus der Abwasserbehandlung verbrannt werden. Es existieren verschiedene Möglichkeiten für die energetische Verwertung der Rejekte und von Schlamm, die organisches Material enthalten (Kunststoffe, Fasern und Feinstoffe):

- Verbrennung in einer betriebsinternen Rejektverbrennungsanlage (siehe Beispiel 1 und Beispiel 3 weiter unten, Beispiel 1 gilt für Testliner und Wellenstoff, während Beispiel 3 die Verbrennung von Rejekten und Deinkingschlamm aus Deinkinganlagen beschreibt)
- Mitverbrennung in einem betriebsinternen kohlebefeuerten Kraftwerk (siehe Beispiel 2 weiter unten)
- Mitverbrennung in der Zementindustrie (wird hier nicht im Detail beschrieben, da diese Möglichkeit im Rahmen der Genehmigungen für die Zementdrehrohröfen geregelt ist. Im Folgenden werden lediglich einige Aspekte hervorgehoben).

Rejekte können als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie zur Substitution von fossilen Brennstoffen eingesetzt werden. Abfälle, die über den Hauptbrenner zugeführt werden, werden in der primären Verbrennungszone bei Temperaturen von bis zu 2000 °C zersetzt. Anorganische Komponenten sind im Zementklinker wiederzufinden. Abfall, der über den sekundären Brenner, Vorerhitzer oder Vorcalcinierer zugeführt wird, wird bei niedrigeren Temperaturen verbrannt, die nicht immer zur vollständigen Oxidation der organischen Stoffe ausreichen. Die Rejekte werden normalerweise über die sekundäre Feuerungsstufe am Eintritt des Drehrohrofens zugeführt. Die Zuführung von Rejekten und Schlamm aus Papierfabriken über den Sekundärbrenner birgt ein bestimmtes Risiko hinsichtlich der Emissionen von unerwünschten Kohlenwasserstoffen (VOC, Dioxine) in sich. In dieser Verbrennungszone steigen die Temperaturen nur langsam, was zu einem Verschwelen der Kunststoffe führen kann. Deshalb müssen die Betreiber von Zementdrehrohröfen sicherstellen, dass der Einsatz von Rejekten aus Papierfabriken als Ersatzstoffe für fossile Brennstoffe nicht zu höheren Emissionen an VOC oder halogenierten organischen Stoffen führt. Analysen und Kontrolle der Zusammensetzungen der zu verbrennenden Rückstände und der entstehenden Abgasemissionen können dieses Risiko vermeiden. Die Eignung der Abfallfraktionen aus Papierfabriken als Ersatz für fossile Brennstoffe in der Zementindustrie ist von Fall zu Fall zu entscheiden. Bei der Verbrennung der Rejekte aus Altpapierfabriken in einer Zementfabrik kann der Chlorgehalt der Flugasche für die weitere Verwendung der Asche ein begrenzender Faktor sein.
Um eine hohe Oberfläche und ein gutes Zündverhalten der Rejekte zu erhalten, ist eine Vorbehandlung notwendig. Diese umfasst hauptsächlich primäres Mahlen, Sieben und sekundäres Mahlen. Das Schreddern und Sieben kann kombiniert werden, z.B. mit einem magnetischen Abscheider und einer Windsichtung, um Eisenmetalle zurückzugewinnen und Verunreinigungen zu entfernen, die dem Mahlen nachgeschalteten Aggregate beschädigen könnten. Normalerweise wird die Vorbehandlung der Rejekte nicht in den Papierfabriken durchgeführt.

Bis zu dieser Stelle können die vorgenannten Optionen zur Rejektverwertung nicht allgemein als BVT angesehen werden. Die Rejektverwertungstechniken unterscheiden sich von Papierfabrik zu Papierfabrik und hängen meist von lokalen Gegebenheiten ab. Da in der näheren Zukunft die Deponierung als die heutzutage vorherrschende Entsorgungsoption nur noch für inertisierten Abfall oder für Abfall mit einem niedrigen Gehalt an organischen Stoffen erlaubt sein wird, stellt die Entwicklung von Rejektverwertungstechniken für die europäische Papierindustrie eine Herausforderung dar. Rückgewinnungsverfahren werden als bevorzugte Abfallbehandlungs-optionen betrachtet. Es sollten Möglichkeiten zur Reduzierung der zu deponierenden Abfallmenge identifiziert und sichergestellt werden, dass sie dort, wo möglich, durchgeführt werden.

Die Verbrennung in Kombination mit der Erzeugung von Strom und Dampf wird als umweltfreundliche Lösung angesehen. Verschiedene technische Varianten zur Verbrennung von Rückständen mit Wärmerückgewinnung wurden in europäischen Papierfabriken realisiert. Drei von ihnen werden nachfolgend einschließlich einer Diskussion der wichtigsten Vor- und Nachteile beschrieben.
Die Verbrennung von Rejekten aus Altpapier verarbeitenden Fabriken mit Deinking in einer betriebsinternen Rejektverbrennungsanlage (Beispiel 1) hängt hauptsächlich von der Fabrikgröße und der Menge an zu verbrennenden Rejekten ab. Die Mitverbrennung dieser Rejekte in betriebsinternen Kohlekraftwerken (Beispiel 2) ist eine sehr aktuelle Technik und ihre Anwendbarkeit hängt von der Art des eingesetzten Brennstoffes zur Wärmeerzeugung ab. In diesem Zusammenhang wird sie als Sonderfall betrachtet und nicht allgemein als BVT. Im Gegensatz dazu ist heutzutage die Verbrennung von Rejekten und Schlamm aus Deinkinganlagen in europäischen Papierfabriken mehr verbreitet und wird, wo machbar, als BVT angesehen.

Beispiel 1: Energetische Verwertung von Rejekten aus Altpapier verarbeitenden Fabriken ohne Deinking in Rejektverbrennungsanlagen

Die Beschreibung dieser Technik betrifft "braune Packpapiere", die aus Altpapieren hergestellt werden. Allerdings sind ähnliche Systeme für andere Altpapierfabriken anwendbar (siehe Beispiel 3).

Beschreibung der Technik: In den meisten Fällen werden die Rejekte aus der Altpapierverarbeitung in Papierfabriken, die Wellenstoff und Testliner herstellen, auf Deponien entsorgt. Unter der Annahme eines Anteils von 4 – 10 % am Altpapiereinsatz ist die Menge an abgetrennten Rejekten in vielen Papierfabriken nicht ausreichend, um eine Rejektver-brennungsanlage wirtschaftlich zu betreiben. Deshalb werden im Gegensatz zur Schlammverbrennung (siehe Beispiel 3) alleinige Verbrennungsanlagen für Rejekte aus der Altpapierverarbeitung nur in wenigen modernen Papierfabriken mit einer hohen Produktionskapazität installiert. Seit Anfang der 90er Jahre ist eine verbesserte Verbrennungstechnik in einer deutschen Papierfabrik in Betrieb. Die Verbrennungsanlage wendet eine mehretagige Verbrennung an und ist in das Kraftwerk der Fabrik integriert. Sie ist ausgelegt für eine Rejektmenge von 14000 Tonne pro Jahr. Der Wassergehalt der Rejekte liegt im Bereich von 45 – 50 %. Nach dem Schreddern und der magnetischen Abscheidung der Eisenmetalle werden die Rejekte der obersten Etage zugeführt, wo die Trocknung durch nach oben geführte Rauchgase erfolgt. Der Transport der Rejekte zu den nächsten Etagen erfolgt mit Hilfe von Rührwerken. Sie transportieren die Rejekte durch alle Brennzonen, von oben nach unten. Das Rauchgas vom oberen Ende der Brennkammer wird zu den Verbrennungsetagen zurückgeführt und dort wiedererhitzt. Bei 800 – 900 °C wird das Rauchgas von den Verbrennungsetagen vollständig verbrannt. Eine separate Brennkammer ist deshalb unnötig und die Rejekte werden in wirtschaftlicher Art und Weise verbrannt.

Die Rauchgasreinigungseinrichtung ist mit einem zweistufigen Nasswäscher zur Entfernung von sauren Schadstoffen, hauptsächlich Schwefeldioxid und Chlorwasserstoff, ausgerüstet. Die Waschflüssigkeit aus dem Nasswaschprozess wird neutralisiert und mit Fäll- und Flockungsmitteln zur Entfernung von Schwermetallen behandelt. Der schwermetallhaltige Schlamm wird auf einer Deponie entsorgt. Zur weitgehenden Verminderung der Dioxinemissionen wird in den rückgeführten Rauchgasstrom eine Mischung aus Aktivkohle und Zeolith eingedüst. Die eingesetzten Adsorptionsmittel werden deponiert. Die Reduktion von NO_x-Emissionen wird durch selektive nichtkatalytische Reduktion (SNCR) unter Einsatz von Ammoniak erreicht, das in die Verbrennungskammer eingedüst wird. Die Staubemission wird durch einen Elektrofilter reduziert.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Da der Energiegehalt der Rejekte für die betriebsinterne Energieerzeugung verwertet wird, kann die Rejektverbrennung als prozessintegrierte Maßnahme angesehen werden.

Die Rejektverbrennung in alleinigen Abfallverbrennungsanlagen ist eine ziemlich aktuelle Technik, die nur in wenigen großen, völlig neuen oder kürzlich erweiterten Fabriken eingesetzt wird. In vielen europäischen Papierfabriken ist die Menge an anfallenden Rejekten für den Betrieb einer Abfallverbrennungsanlage unter wirtschaftlichen Bedingungen nicht ausreichend. Deshalb sind alleinige Verbrennungsanlagen nur für größere Fabriken machbar.

Die Nachrüstung von älteren Papierfabriken ist möglich, aber es ist unsicher, ob eine Verbrennungsanlage einschließlich der notwendigen Rauchgasreinigung in wirtschaftlicher Art und Weise betrieben werden kann. Legt man für eine Verbrennungsanlage für 15000 t/a Investitionskosten von ca. 20 Mio EUR und die Tatsache, dass die spezifischen Kosten für kleine Anlagen ansteigen, zugrunde, ist ein wirtschaftlicher Betrieb im Falle von kleinen Papierfabriken zweifelhaft.

Aus diesem Grund betreibt z.B. eine Gruppe von relativ nahe beieinander liegenden Fabriken in der niederländischen Provinz Gelderland einen gemeinsamen Wirbelschichtkessel zur Verbrennung von Rückständen. Die Zusammensetzung der Asche wird streng kontrolliert. Die Asche wird in der Bauindustrie eingesetzt.[11]

[11] N.V. AVIRA und CDEM Holland BV, MER Thermische Conversie-installatie Duiven, 1997.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Emissionswerte für die oben beschriebene Rejektverbrennungsanlage sind in Tabelle 5.27 zusammengefasst. Die wiedergegebenen Werte sind Mittelwerte für das Jahr 1997.

Parameter	Einheit	Gemessene Werte	Grenzwerte (deutsche Grenzwerte)*
Staub	mg/Nm³	3,2	10,0
SO_2	mg/Nm³	26,0	50,0
NO_x	mg/Nm³	195	200
CO	mg/Nm³	14,1	50,0
HCI	mg/Nm³	1,7	10,0
HF	mg/Nm³	0,06	1,0
ges-C	mg/Nm³	1,4	10,0
Cd, TI	µg/Nm³	< 17,0	50,0
Hg	µg/Nm³	5	50,0
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	µg/Nm³	71,0	500
Dioxine/Furane	ng I-TE/Nm³	0,097	0,1

Anmerkungen:
* Entsprechend der 17. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe) vom 23.11.1990; die Werte sind auf Standardtemperatur und Druck (0°C, 1 bar, trockenes Gas) und auf einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol% bezogen

Tabelle 5.27: Emissionswerte für die Rejektverbrennung in einer Mehretagenverbrennungsanlage im Vergleich zu deutschen Grenzwerten [IFP, 1998]

Emissionsmessungen: Es werden kontinuierlich Staub, SO_2, NO_x und CO gemessen und weitere Parameter durch die Analyse von individuell entnommenen Proben bestimmt.

Verlagerungseffekte: Die Verbrennung der Rejekte spart Deponiekapazitäten. Die anfallenden Aschen sind für eine Wiederverwertung geeignet, z.B. für den Einsatz im Straßenbau. Es können fossile Brennstoffe für die Energieerzeugung substituiert werden. Die Abgasemissionen aus der Verbrennungsanlage müssen behandelt werden. Erreichbare Werte können der vorgenannten Tabelle 5.27 entnommen werden. Im Gegensatz dazu sind die potenziellen Emissionen durch Deponiegase niedriger. Beim Einsatz von Nasswäschern zur Abgasreinigung fällt Abwasser an.

Angaben zum Betrieb: Im Jahre 1997 betrug die Betriebseffizienz der betreffenden Verbrennungsanlage 85 %, was zufriedenstellend ist. Die Zeit für die Unterhaltung und Inspektion überschritt die erwarteten Zeiträume nicht.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten betrugen im Jahre 1991 insgesamt 20 Mio EUR. Spezifische Betriebskosten sind nicht verfügbar. Die gesamten spezifischen Kosten für die Verbrennung von 1 Tonne Rejekt (50 – 60 % Trockensubstanz) betrugen ca. 100 EUR. Diese Kosten beinhalten die Kapital- und Betriebskosten sowie die Einsparungen an Erdgas, das für die betreffende Fabrik die Energiequelle darstellt.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Im Fall der Referenzanlage lag es vor zehn Jahren auf der Hand, dass die Kapazität der nahe gelegenen Deponie zur Neige geht, was zu höheren Deponiekosten führt.

Anlagenbeispiele: SCA Packaging Industriepapier GmbH, Aschaffenburg/Deutschland

Literatur: nicht verfügbar

Beispiel 2: Mitverbrennung von Rejekten aus Altpapier verarbeitenden Fabriken ohne Deinking in Kohlekraftwerken einschließlich Rauchgasbehandlung

---

Diese Technik gilt streng genommen nur für Altpapier verarbeitende Fabriken, die Wellenpapier herstellen. Allerdings kann es die Untersuchung von Fall zu Fall wert sein, ob ein ähnliches System für andere Altpapierfabriken einsetzbar ist.

Beschreibung der Technik: Wegen ihrer inhomogenen Zusammensetzung werden die üblichen Rejekte aus Altpapier verarbeitenden Fabriken ohne Deinking auf Deponien abgelagert. Allerdings sind diese Rejekte wegen ihres durch hohe Anteile von Kunststoffen hohen Heizwertes im Bereich von 22 – 24 MJ/kg Trockensubstanz für eine Energierückgewinnung geeignet, wodurch fossile Brennstoffe ersetzt werden (siehe auch Beispiel 1).

Tabelle 5.28 gibt die Zusammensetzung von Rejekten als Mittelwerte von 18 Analysen, die in verschiedenen deutschen Papierfabriken, die Wellenstoff und Testliner herstellen, durchgeführt wurden.

Komponente	Einheit	Wert
Kunststoff	Gewichts-%	26,0
Fasern	Gewichts-%	27,0
Glas und Steine	Gewichts-%	0,1
Metalle	Gewichts-%	0,9
Andere organische Stoffe	Gewichts-%	1,0
Wasser	Gewichts-%	45,0
Heizwert (100 % Trockensubstanz)	MJ/kg	23,8
Heizwert (55 % Trockensubstanz)	MJ/kg	12,0
Chlorgehalt der Kunststofffraktion	Gewichts-%	5,5
Chlorgehalt der Rejekte	Gewichts-%	1,4

Tabelle 5.28: Zusammensetzung der Rejekte aus der Herstellung von Testliner and Wellenstoff [IFP, 1998]

In Papierfabriken, die ihre Kraftwerke mit festen Brennstoffen wie Braunkohle oder Steinkohle befeuern, ist die Mitverbrennung der Rejekte machbar. Die Einrichtung einer mit der Verbrennungskammer des Kraftwerkes verbundenen Trocknungs- und Vergasungskammer ist notwendig. In der Trocknungs- und Vergasungskammer werden die Rejekte durch Oxidation der kohlenstoffhaltigen Stoffe mit Luft vergast. Die im Zuge der Vergasung entstehenden Gase werden in der Verbrennungskammer des Kraftwerkes nachverbrannt. Es müssen geeignete Verbrennungsbedingungen (> 850 °C und ein Sauerstoffgehalt > 6 %) zur Vermeidung von Problemen mit VOC und Ruß sichergestellt werden. Als Überwachungsparamter kann CO gemessen werden (< 50 mg/Nm³).

Vor der Trocknung und Vergasung ist für die Rejekte folgende Behandlung erforderlich: In einer ersten Stufe wird die Klassierung in einer Siebtrommel durchgeführt. Die Rejekte mit einer Größe von mehr als 50 mm werden geschreddert. Anschließend werden die Eisenmetalle durch Magnetabscheidung abgetrennt. Für die Zuführung der Rejekte zur Trocknungs- und Vergasungskammer wird ein Wanderrost eingesetzt. Ein vereinfachtes Blockschaltbild der beschriebenen Technik ist in Abbildung 5.17 wiedergegeben.

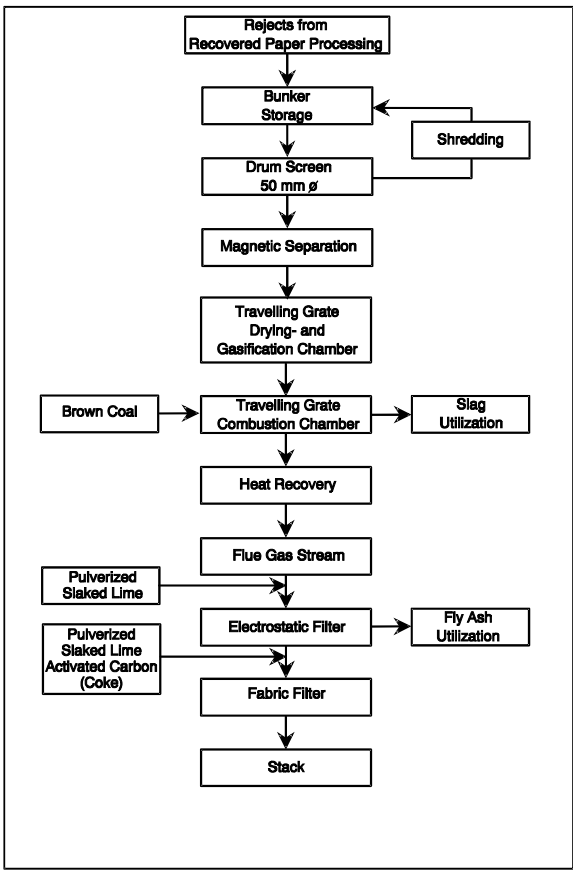


Abbildung 5.17: Vereinfachtes Blockschaltbild für die Mitverbrennung von Rejekten in einem Braunkohlekraftwerk [IFP, 1998]

Activated Carbon (Coke) = Aktivkohle (Koks); Brown coal = Braunkohle; Bunker Storage = Lagerung im Bunker; Combustion chamber = Verbrennungskammer; Drum Screen = Siebtrommel; Drying- and Gasification Chamber = Trocknungs- und Vergasungskammer; Electrostatic Filter = Elektrofilter; Fabric Filter = Gewebefilter; Flue Gas Stream = Rauchgasstrom; Heat Recovery = Wärmerückgewinnung; Fly Ash Utilization = Flugascheverwertung; Magnetic Separation = Magnetische Abscheidung; Rejects from Recovered Paper Processing = Rejekte aus der Altpapierverarbeitung; Shredding = Schreddern; Pulverized Slaked Lime = pulverförmiger gelöschter Kalk; Slag Utilization = Schlackeverwertung; Stack = Kamin; Travelling Grate = Wanderrost

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Da der Energiegehalt der Rejekte zur betriebsinternen Energieerzeugung genutzt wird, muss die Mitverbrennung der Rejekte als prozessintegrierte Maßnahme angesehen werden. Grundsätzlich sollten alle mit festen Brennstoffen befeuerten Kraftwerke (Braunkohle, Steinkohle) für eine Mitverbrennung der Rejekte geeignet sein. Allerdings setzen die meisten großen europäischen Hersteller von Wellenstoff und Testliner Erdgas als Brennstoff in ihren Kraftwerken ein. Deshalb ist die Mitverbrennung von Rejekten auf kleine und oft ältere Fabriken beschränkt.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Mitverbrennung von Rejekten in bestehenden Kraftwerken erfordert zusätzliche Maßnahmen für die Rauchgasreinigung. Normalerweise muss diese Rauchgasreinigung strenge Anforderungen erfüllen. Zur Entfernung von HCl, der durch den hohen Chlorgehalt der Rejekte verursacht wird, wird pulverförmiger gelöschter Kalk (Calciumhydroxid) in den Rauchgasstrom eingedüst. Durch die Eindüsung von trockenem Kalk in der richtigen Temperaturzone können die Emissionen HCl, HF und SO_2 minimiert werden. Im Allgemeinen erreichbare Emissionsniveaus sind für HCl < 30 mg/Nm³, HF < 5 mg/Nm³ und SO_2 < 200 mg/Nm³. Niedrigere Werte sind in Abhängigkeit von der Adsorptionsmitteldosierung möglich. Das Abgas wird anschließend in einem Elektrofilter und zusätzlich in einem Gewebefilter behandelt. Die Staubkonzentration im gereinigten Rauchgas überschreitet 10 mg/Nm³ nicht. Die Entfernung von Dioxinen/Furanen aus dem Rauchgas wird mittels Aktivkohle oder Koks bewerkstelligt. Im Allgemeinen erreichbare Emissionsniveaus für Dioxine/Furane liegen bei < 0,1 ng I-TEQ/Nm³. Niedrigere Werte sind in Abhängigkeit von der Aktivkohledosierung möglich. Anschließend wird das Abgas in der oben genannten Entstaubungseinrichtung behandelt. Aufgrund der Tatsache, dass bestehende Anlagen zur

Mitverbrennung von Rejekten erst kürzlich in Betrieb gegangen sind (1997), sind noch keine belastbaren Daten verfügbar.

Emissionsmessungen: Die Konzentrationen an HCI, Staub und O_2 im gereinigten Rauchgas werden kontinuierlich gemessen.

Verlagerungseffekte: Es wird davon ausgegangen, dass die Mitverbrennung von Rejekten einen positiven Einfluss auf den Umweltschutz im Vergleich zur Deponierung hat. Soweit Rejekte zur Energieerzeugung eingesetzt werden, können feste Brennstoffe substituiert werden. Eine Tonne Rejekt mit einem Wassergehalt von ca. 45 % ersetzt ungefähr 0,7 Tonnen Braunkohle. Da der Anteil CO_2-neutraler Fasern in Rejekten in Bezug auf die Feststoffe in der Größenordnung von 50 % liegt, erniedrigt sich die Reduzierung der fossilen CO_2-Emissionen. Die Mitverbrennung von Rejekten ist eine wirksame Methode zur Minimierung von Abfall, der normalerweise deponiert wird. In diesem Fall sind die anfallenden Aschen für eine Wiederverwertung, z.B. zur Rekultivierung von Braunkohleminen, geeignet. In anderen Fällen werden der Staub, die partikelgebundenen Schwermetalle und die vorgenannten Adsorbentien gesammelt und müssen entsorgt werden.

Angaben zum Betrieb: Die Mitverbrennung von Rejekten ist eine neue Technik. Der Betriebsbeginn der Trocknungs- und Vergasungskammern fand Ende 1997 statt. Deshalb ist die Angabe von ausreichenden Informationen zur Betriebspraxis und der Verfügbarkeit der Verbrennungsanlagen nicht möglich.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Rejektmenge von maximal 3 t/h betragen die Investitionskosten für eine Mitverbrennungsanlage einschließlich der Einrichtungen für die Rejektvorbehandlung, Trocknungs- und Vergasungskammer ca. 2,5 Mio. EUR. Unter der Annahme von Deponiekosten in Höhe von 50 EUR/t ergibt sich damit eine jährliche Einsparung von 0,6 Mio. EUR. Die Substitution von Braunkohle führt zu Einsparungen von 0,3 Mio. EUR/a. Die Kosten für die Unterhaltung können derzeit nicht angegeben werden. Die Kosten für Abschreibung und Kapital sind nicht berücksichtigt, da Angaben dazu nicht verfügbar sind.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: In Abhängigkeit von der örtlichen Lage der Papierfabriken können die Deponiekosten zurzeit sehr hoch sein und in Zukunft weiter steigen. Die beiden Fabriken, die die Mitverbrennung von Rejekten in Kohlekraftwerken betreiben, befinden sich in Deutschland. Bedenkt man, dass nach 2005 in Deutschland die Deponierung von Abfall mit einem Gehalt an organischen Stoffen von mehr als 5 % nicht mehr erlaubt sein wird, wird deutlich, dass die Einführung dieser Technik eine Investition für die Zukunft darstellt.

Anlagenbeispiele: Zülpich Papier - Recycled Paper Europe, Zülpich/Deutschland
Schöllershammer Industriepapier, Düren/Deutschland

Literatur: nicht verfügbar

Beispiel 3: Verbrennung von Rückständen (Rejekte und Schlämme) aus Anlagen zur Herstellung von deinktem Altpapierstoff mit gleichzeitiger Strom- und Dampferzeugung

---

Im Unterschied zu den Beispielen 1 und 2 bezieht sich das nachfolgend beschriebene Beispiel auf Deinkinganlagen oder auf solche Anlagen, die eine Mischung aus deinktem Altpapierstoff (DIP) und Holzstoff einsetzen.

Beschreibung der Technik: Heutzutage ist die Verbrennung von verschiedenen Arten von Schlamm und Rejekten in der Zellstoff- und Papierindustrie einschließlich von Rejekten, Deinkingschlamm, Schlamm aus der Abwasserbehandlung etc. weit verbreitet. Die nachfolgenden zwei Varianten für die Verbrennung von Rejekten und Schlamm sind verfügbar:

- Mitverbrennung mit Rinde in Rindenkesseln (nur für Papierfabriken, die eine Mischung aus Rohstoffen einsetzen, wie z.B. eine Mischung aus Deinkingstoff und Holzstoff, sofern entrindet wird): Gegenwärtig ist

für neue Anlagen der Wirbelschichtkessel für die Mitverbrennung, besonders von Schlämmen mit ziemlich niedrigem Feststoffgehalt die vorherrschende Technik. Diese Kessel können mit 100 % Schlamm betrieben werden, gleichwohl der Einsatz von Stützbrennstoff, wie Erdgas, Kohle oder Öl üblich ist. Die Notwendigkeit von Stützbrennstoff hängt vom Trockensubstanzgehalt des Schlammes und dem Aschegehalt ab. Im Allgemeinen ist ein Feststoffgehalt für eine selbstgängige Verbrennung von mindestens 35 - 40 % TS erforderlich (siehe Abbildung 6.19).

- Separate Schlammverbrennung.

Um in einem Kessel verbrannt werden zu können, muss der Schlamm aus der Altpapier verarbeitenden Fabrik zunächst entwässert werden (siehe Abschnitt 5.3.10). Die Entwässerungsfiltrate sind in der betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage zu behandeln. Gegenwärtig behandeln einige Fabriken das Vorentwässerungsfiltrat mittels Mikroflotation und verwenden es im Aufschlussprozess wieder.

Der *Deinkingschlamm* aus den Flotationseinheiten kann ohne Vorbehandlung nach der Entwässerung verbrannt werden. Der entwässerte Überschussschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung kann zugegeben werden, weist aber nur einen kleinen Anteil an der gesamten Schlammenge auf (ca. 5 %). Zur Sicherstellung einer hohen Temperatur (> 850°C) wird normalerweise auch Gas oder Rinde im Kessel für feste Brennstoffe (Wirbelschichtkessel) verbrannt. Es gibt Fabriken, die ausschließlich Schlamm, während andere alle Rückstände einschließlich Rejekte oder Rinde verbrennen.
Im Falle, dass *Rejekte* aus der Herstellung von Deinkingstoff auch verbrannt werden, müssen sie zunächst so verarbeitet werden, dass sie für die Verbrennung in einem Wirbelschichtkessel geeignet sind (siehe auch Beispiel 2, Abbildung 5.17). Der Hauptzweck der Vorbehandlung von Rejekten aus einer Deinkinganlage ist die Abtrennung von nicht brennbaren Stoffen und das Mahlen der Brennstoffpartikel zur Erreichung einer großen Oberfläche und guter Zündeigenschaften auf eine geeignete Größe. Nach dem primären Mahlen und Sieben werden die brennbaren Stoffe dem Brennstoffbehälter des Kessels zugeführt. Die zurückbleibenden Rejekte werden in eisenhaltige Rejekte und andere nichtbrennbare Rejekte getrennt.
Die Vorbehandlung dieser Rejekte kann aus folgenden Stufen bestehen:

- *Vorsieben 1* zur Abtrennung großer Eisenteile
- *Primäres Mahlen,* um die Partikel auf eine geeignet Größe für die folgenden Siebstufen zu reduzieren
- *Vorsieben 2* zur Entfernung des restlichen Eisens
- *Sieben* zur Abtrennung der nichtbrennbaren Stoffe (Metalle, Steine, Glas etc.)
- *Sekundäres Mahlen* zum Zerschneiden von Kunststofffetzen, Streifen und Seilen, die das primäre Mahlen passiert haben.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Verbrennung von Rückständen (Rejekte und Schlamm) mit gleichzeitiger Strom- und Dampferzeugung kann in den meisten neuen und bestehenden Fabriken eingesetzt werden. Allerdings hängt die Anwendbarkeit in jedem Fall von der Art und von der Kapazität des Kessels ab. Beispielsweise können kleine Fabriken diese Technologie nicht einsetzen. Sie haben oft sehr einfache Öl- oder Gaskessel mit beschränkter Kapazität oder beschränkten technischen Möglichkeiten zur Verbrennung von Feststoffen. Der hohe Chlorgehalt der Rejekte erfordert besondere Aufmerksamkeit (Korrosion, Abgasbehandlung).

In der Praxis sind Wirbelschichtkessel im Allgemeinen geeigneter als rostbefeuerte Kessel und können mit geringeren Zusatzkosten nachgerüstet werden. Aus Betreibersicht weisen Wirbelschichtkessel viele Vorteile auf, unter anderen geringere Empfindlichkeit gegenüber der Brennstoffmenge und Schwankungen der Brennstoffqualität und in den meisten Fällen niedrigere Emissionen im Vergleich zu den rostbefeuerten Kesseln.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Hauptumweltnutzen besteht in der Reduktion der Menge der zu deponierenden Stoffe um ca. 80 - 90 %. Zusätzlich wird eine Änderung der Zusammensetzung der Abfälle erreicht, d.h. der Gehalt an organischen Stoffen wird nahezu vollständig eliminiert. Für die schlussendliche Entsorgung oder die Verwendung der Aschen bestehen in Abhängigkeit der erreichten Aschequalitäten verschiedene Möglichkeiten. In einigen Fällen wird die Asche deponiert, in anderen wird sie in der Bauindustrie oder für andere nutzbringende Zwecke verwendet.

Die Emissionswerte für Verbrennungsanlagen zur Verbrennung von Deinkingschlamm und Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung sind in Tabelle 5.29 zusammengefasst. Die wiedergegebenen Werte sind Mittelwerte für das Jahr 1998.

Parameter	Einheit	Gemessene Werte im Jahre 1998 *	Grenzwert Tagesmittelw.*	Installierte Technik zur Abgasreinigung
Staub	mg/Nm³	4,8	10,0	- Einsatz von Schlauchfiltern (Teflon)
SO_2	mg/Nm³	1,1	50,0	- der S-Gehalt im Schlamm ist sehr niedrig
NO_x	mg/Nm³	185	200	- SNCR (Ammoniakeindüsung)
CO	mg/Nm³	16,3	50,0	- das Wirbelbett ermöglicht gute Verbrennungsbedingungen
HCI	mg/Nm³	3,5	10,0	- Eindüsung eines Adsorbens (Mischung aus Calcium und Aktivkohle) vor den Schlauchfiltern
ges-C	mg/Nm³	1,1	10,0	
Anmerkung: * Die gemessenen Werte und die Emissionsgrenzwerte beziehen sich auf einen Sauerstoffgehalt von 11 Vol%. Die Werte für Schwermetalle und Dioxine/Furane liegen deutlich unter den Grenzwerten; sie werden regelmäßig gemessen.				

Tabelle 5.29: Emissionswerte für die Verbrennung von Deinkingschlamm (mit zusätzlich ca. 5% Überschussschlamm) in einer Wirbelschichtverbrennungsanlage in Deutschland und ihr Vergleich mit den deutschen Grenzwerten [1998 Vereinfachte Umwelterklärung, Sachsen Mill]

Die Energierückgewinnung kann ein zweites Ziel für die Anwendung dieser Technik sein. Nach der Entwässerung besteht eine leichte positive Energiebilanz im Bereich von 4 - 5 MJ/t, bezogen auf die Verbrennung von entwässertem Schlamm (bei 58 % Trockensubstanz). Bei einigen Papierfabriken mit Waschdeinking (z.B. Altpapier verarbeitende Fabriken zur Herstellung von Tissue) führt der Einsatz der Schlammverbrennung unter dem Strich jedoch zu einem Energieverbrauch. Dies ist üblicherweise wegen des hohen Aschegehaltes und des deshalb niedrigren Energiegehaltes des Schlammes der Fall.

Verlagerungseffekte: Bei der Verbrennung entstehen Abgasemissionen, die behandelt werden müssen. In Tabelle 5.29 sind erreichte Emissionswerte zu finden. Im Gegensatz dazu werden potenzielle Emissionen durch die Deponiegase reduziert. Durch die Reinigung des Abgases aus der Verbrennung fällt normalerweise eine bestimmte Menge an Abfall an, der entsorgt werden muss. Im Falle einer nassen Abgasbehandlung fällt Abwasser an.

Betriebserfahrungen: Die Verbrennung von *Schlamm* mit gleichzeitiger Erzeugung von Strom und Dampf kommt in vielen Fabriken zum Einsatz. Allerdings ist die Verbrennung von *Rejekten* viel schwieriger und birgt die Gefahr von Emissions- und Korrosionsproblemen in sich. Die Möglichkeiten in der Praxis hängen von der Kapazität und der Art des Kessels ab. Diese Technologie kann in begrenztem Umfang in kleineren Papierfabriken eingesetzt werden.

Das in die Gasphase übergetretene Chlor aus der Wirbelbettverbrennung tritt als HCl, aber auch als Kaliumchlorid (KCl) und Natriumchlorid (NaCl) auf. Diese Substanzen sind bekannt dafür, auf der Rohroberfläche zu kondensieren und unter Umständen die Möglichkeit der Schmelzphasenkorrosion zu erhöhen. Diese Art von Korrosion kann in den Überhitzern durch Dampftemperaturen über 500 °C entgegengetreten werden.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer Deinkingstoffproduktion von 700 t/d betragen die Investitionskosten für eine neue Schlamm- und Rejektverbrennungsanlage ca. 7 - 9 Mio. EUR und die Betriebskosten 0,7 – 0,9 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: In Abhängigkeit vom Organikgehalt der zu verbrennenden Stoffe kann durch Einsatz der Rückstandsverbrennung die erforderliche Fläche für die Deponierung beträchtlich reduziert werden. In vielen Mitgliedsstaaten wird die Deponierung von Abfall mit hohem organischem Gehalt missbilligt.

Referenzanlage: Einige europäische Anlagen zur Herstellung von deinktem Altpapierstoff für die Produktion von Zeitungsdruckpapier und Tissue haben Wirbelschichtverbrennungssysteme installiert, wie z.B. Sachsen Papier Eilenburg (DE), Zeitungsdruckpapier, Tela Papierfabrik AG (CH), Tissue, Haindl Papier Schwedt (DE), Zeitungsdruckpapier und WEPA Giershagen (DE), Tissue.

Literatur:
[CEPI, 1998b], [Finnish BAT Report, 1997], [StoraEnso, 1999]

5.4 Beste verfügbare Techniken

5.4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seiner Inhalte wird der Leser auf das Vorwort verwiesen, das für alle BREFs einheitlich ist, insbesondere auf den fünften Abschnitt dieses Vorworts "Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken mit den damit unmittelbar verbundenen Emissions- und Verbrauchswerten (oder -bereichen) sind das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, das folgende Stufen beinhaltet:

- Identifizierung der wesentlichen Umweltaspekte/-probleme; für integrierte Altpapier verarbeitende Fabriken haben die größte Bedeutung der Wassereinsatz, die Abwassereinleitung (CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, N, P, AOX), der Energieverbrauch (Dampf und Strom), feste Abfälle wie Rejekte, Schlamm und Asche, Abgasemissionen aus der Energieerzeugung (SO_2, NO_x, CO_2, Staub), Lärm, Abwärme im Abwasser und manchmal Gerüche; die drei zuletzt genannten Punkte stehen für lokale Auswirkungen;
- Bewertung der Techniken, die zur Lösung dieser Probleme am geeignetsten sind;
- Identifizierung der besten Umweltleistungen auf Basis der in Europa und weltweit verfügbaren Daten;
- Ermittlung der Bedingungen, unter denen diese Umweltleistungen erreicht werden können. Diese beinhalten u.a. Kostenaspekte, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien und die wichtigsten Gründe für die Einführung dieser Techniken;
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) mit den damit verbundenen erreichbaren Emissions- und/oder Verbrauchswerten, die für diesen Sektor grundsätzlich gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der IVU-Richtlinie gelten.

Bei jedem dieser Schritte sowie bei der Darstellung der Informationen hat die Beurteilung durch Experten die entscheidende Rolle gespielt.

Vor diesem Hintergrund werden die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken und so weit als möglich die damit erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte als für die gesamte Branche geeignet angesehen. In vielen Fällen geben sie die derzeitige Leistungsfähigkeit und Betriebsweise von Anlagen dieser Branche wieder. Die angegebenen Emissions- und Verbrauchswerte „in Verbindung mit den besten verfügbaren Techniken“ sind so zu verstehen, dass sie für die Branche als solche geeignet sind und Umweltleistungen widerspiegeln, die das Ergebnis der Anwendung der Techniken in diesem Sektor sind. Dabei sind die Kostenaspekte und Umweltvorteile entsprechend der "BVT"-Definition abzuwägen. Die erreichbaren Werte sind jedoch keine Grenzwerte, weder für Emissionen noch für den Verbrauch, und sollten nicht als solche verstanden werden. Es mag Fälle geben, in denen technisch bessere Emissions- und Verbrauchswerte erreicht werden können, die aber wegen der damit verbundenen Kosten oder durch Betrachtung von Verlagerungseffekten in andere Umweltmedien nicht als allgemein gültig für den Sektor angesehen werden. Solche Werte können jedoch in Fällen, bei denen besondere Gründe vorliegen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die Emissions- und Verbrauchswerte müssen im Zusammenhang mit den BVT in Beziehung mit bestimmten Bezugsbedingungen (z.B. Mittelungszeiträume) gesetzt werden.

Das vorstehend beschriebene Konzept “Niveaus im Zusammenhang mit BVT” ist von dem sonst in diesem Dokument verwendeten Begriff “erreichbares Niveau” zu unterscheiden. In Fällen, in denen Werte in Verbindung mit einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken als "erreichbar" bezeichnet werden, sind sie als Werte zu verstehen, deren Erreichen über längere Zeit in einer sorgfältig ausgelegten und gewarteten sowie in einer gut betriebenen Anlage oder Prozess erwartet werden kann.
Soweit verfügbar sind die Angaben zu den Kosten zusammen mit den in Kapitel 4 beschriebenen Techniken angegeben. Sie geben eine ungefähre Vorstellung zur Größenordnung der betreffenden Kosten. Allerdings hängen die tatsächlichen Kosten einer Technik stark von den speziellen Verhältnissen eines Falles ab, z.B. von Gebühren, Steuern und den technischen Gegebenheiten einer Anlage. Es ist im Rahmen dieses Dokuments nicht möglich, alle diese standortspezifischen Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Sofern Angaben zu den Kosten nicht verfügbar sind, werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit von Techniken auf der Grundlage von Erfahrungen aus bestehenden Anlagen gezogen.

Die in diesem Kapitel grundsätzlich als "BVT" angesehenen Techniken sind der Maßstab, mit dem die Umweltleistung einer laufenden bestehenden Anlage bzw. ein Antrag für eine neue Anlage beurteilt werden soll. Auf diese Weise dienen sie der Festlegung von geeigneten Bedingungen auf der Grundlage der BVT und der Einführung allgemein bindender Vorschriften nach Artikel 9 Absatz 8. Es wird angestrebt, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie die hier dargelegten generellen BVT erreichen oder sogar bessere Umweltleistungen aufweisen. Es wird auch angestrebt, dass bestehende Anlagen sich entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken im jeweiligen Fall mit der Zeit an die generellen BVT annähern können oder über diese hinausgehen.

Obwohl die BREFs selbst keine rechtlich verbindlichen Standards festlegen, bieten sie Informationen als Wegweisung für Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit hinsichtlich erreichbarer Emissions- und Verbrauchswerte für bestimmte Techniken. Bei der Festlegung von geeigneten Emissionsgrenzwerten im Einzelfall wird es notwendig sein, die Zielsetzungen der IVU-Richtlinie sowie die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die Herstellung von Papier aus Altpapier erfolgt nicht in einem einzelnen Prozess, sondern in einer Abfolge von Grundoperationen, die oft miteinander verbunden sind und voneinander abhängen. Deshalb handelt es sich bei den BVT für Altpapier verarbeitende Fabriken immer um eine geeignete Kombination von Techniken. Die Prioritätensetzung und die Auswahl von Techniken oder einer Kombination von Techniken hängen von örtlichen Gegebenheiten ab.

Die nachfolgend aufgeführten Techniken sind, soweit nichts anderes vermerkt ist, bei neuen und bestehenden Anlagen anwendbar. Bei Papierfabriken spielt der Umstand weniger eine Rolle, ob es sich um eine neue oder bestehende Fabrik handelt. Papierfabriken sind mehr durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Maschinentechnik umgebaut und weniger als Ganzes ersetzt wird. Die modulare Umrüstung und Entwicklung der Anlagen bedeutet, dass jeder Standort ein einzigartiges Ergebnis der örtlichen Verhältnisse und der Geschichte darstellt. Auf der anderen Seite liegt eine Verknüpfung von Grundoperationen vor, die allen Ländern gemein ist.

Die Kriterien, die bei der Festlegung der BVT im Einzelfall zu betrachten sind, betreffen die spezifischen Kosten, die für kleine Fabriken relativ höher sind (Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von der Anlagen-/Betriebsgröße). Andere in Betracht zu ziehende Faktoren sind die begrenzte Verfügbarkeit von Platz, was für einige ältere Fabriken zutreffen könnte, oder ungeeignete Werkstoffe oder Konzeption von älteren Einrichtungen, die ein höheres Maß an Kreislaufschließung nicht erlauben. Eine höhere Wasserkreislaufschließung geht gewöhnlich mit einem komplexeren System einher, dass überwacht, kontrolliert und verstanden werden muss. In kleineren Fabriken kann manchmal nicht das notwendige Wissen zum effizientesten Betrieb und Überwachung komplexerer Verfahrenslösungen verfügbar sein.

5.4.2 BVT für Altpapier verarbeitende Papierfabriken

Für Altpapierfabriken werden die nachstehenden Techniken als BVT angesehenen Techniken. Die folgende Liste an BVT ist nicht als erschöpfend zu verstehen und jede andere Technik oder Technikkombination, mit der die gleiche (oder bessere) Umweltleistung erreichbar ist, kann ebenso in Betracht gezogen werden; solche Techniken können sich in der Entwicklung befinden oder an der Schwelle der Praxisreife stehen oder bereits verfügbar sein, ohne in diesem Dokument beschrieben zu sein. Für integrierte Altpapieranlagen wird auf Abschnitt 6.4 verwiesen, wo zu BVT für die Papierherstellung weitere Details zu finden sind. Soweit nichts anderes genannt ist, handelt es es sich bei den angegebenen Werten um Jahresmittelwerte.

Allgemeine Maßnahmen

1. Training, Ausbildung und Motivation der Belegschaft und der Maschinenführer. Papierfabriken werden von Menschen betrieben. Deshalb kann das Training der Belegschaft ein sehr kostengünstiger Weg zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und der Ableitung von gefährlichen Stoffen, wie zum Beispiel bei der betriebsstörungsbedingten Freisetzung von Chemikalien, sein.
2. Optimierung der Prozesskontrolle. Zur gleichzeitigen Reduzierung verschiedener Schadstoffe und zur Gewährleistung niedriger Emissionen ist eine verbesserte Prozesskontrolle erforderlich.
3. Zur Aufrechterhaltung der Effizienz der technischen Anlagen in Papierfabriken und den damit verbundenen Anlagen zur Emissionsminderung auf hohem Niveau muss ihre ausreichende Wartung gewährleistet sein.
4. Ein Umweltmanagementsystem, dass klar die Verantwortlichkeiten für die umweltrelevanten Aspekte einer Fabrik definiert. Es erhöht das Bewusstsein und beinhaltet Ziele und Maßnahmen, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Checklisten und andere relevante Dokumentationen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasseremissionen

Die Reduktion des Frischwasserverbrauchs und damit der Abwassermengen kann durch Einsatz einer Kombination verschiedener Techniken erreicht werden, wie:

1. Trennung von weniger verunreinigtem von verunreinigtem Wasser und Recycling als Prozesswasser. Die Trennung und Wiederverwendung von sauberen Kühlwässern und Recycling als Sperr- und Prozesswasser für Pumpen zur Vakuumerzeugung stellen Wege zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs dar.
2. Optimales Wassermanagement (Wasserkreislaufführung), Wasserklärung durch Sedimentation, Flotation oder Filtrationstechniken und Recycling als Prozessabwasser für verschiedene Zwecke.
3. Reduktion des Frischwasserverbrauch durch konsequente Trennung der Wasserkreisläufe und durch Gegenstromführungen.
4. Erzeugung von geklärtem Wasser für Deinkinganlagen (Flotation).

Die Abwasserbehandlungstechniken hängen sehr eng mit der Rückgewinnung und dem Recycling von Prozessabwasser zur Verminderung des Frischwasserverbrauchs zusammen. Eine verstärkte Prozesswasserkreislaufschließung führt zu geringeren Mengen, aber konzentrierteren Abwässern, die im Allgemeinen effizienter behandelt werden können. Die Verringerung der Prozessabwassermengen führt auch zu einem Anstieg der Anwendbarkeit von fortschrittlichen Technologien. Deshalb kann die Reduktion des Frischwasserverbrauchs zu einer Verminderung der Abwassereinleitungen in Oberflächengewässer führen. Der Frischwasserverbrauch hängt hauptsächlich von den Produktanforderungen, den Papiersorten und der Konzeption des Wassersystems der Papierfabrik (Bedingungen der Fabrik) ab. Der Wasserverbrauch hängt von der Wassermenge ab, die für die Spritzrohre benötigt wird. Weiterhin hängt der Frischwasserverbrauch vom Wissen über das Wassermanagement und der Motivation der gesamten Belegschaft, der Vision zu folgen, eine Papierfabrik mit so wenig Wasser wie nötig zu betreiben. Überschüssiges Kreislaufwasser und andere verschmutzte Prozessabwässer werden dem System entzogen und biologisch behandelt.

5. Installation eines Ausgleichsbeckens und Primärbehandlung. Diese Maßnahmen werden nahezu in allen Papierfabriken angewendet und dürften als Regel der Technik angesehen werden. Sie sind eine Voraussetzung für den ordnungsgemäßen und stabilen Betrieb von biologischen Abwasserbehandlungsanlagen. Für Altpapier verarbeitende Fabriken wird diese Technik als alleinige Maßnahme nicht als BVT angesehen.
6. Aerobe biologische Behandlung. Für deinkte Papiersorten und in Abhängigkeit von den Bedingungen auch für nichtdeinkte Papiersorten ist die biologische Behandlung die bevorzugte Technik. Es gibt eine Menge unterschiedlicher Behandlungsvarianten, die bei der Reduktion der eingeleiteten organischen Fracht positive Ergebnisse erreichen. Die Auswahl der Behandlungsoption wird hauptsächlich durch die Konzentration des Rohabwassers, die Abwasserzusammensetzung und die zu erreichende Reinigungsleistung bestimmt. Die geeignete Auslegung und Unterhaltung der Behandlungsanlage ist eine Voraussetzung für den erfolgreichen Betrieb biologischer Systeme. In Abhängigkeit von der Rohabwasser-konzentration und dem gewählten Behandlungssystem sind die mit den BVT erreichten Reinigungsleistungen diejenigen, die im Abschnitt 6.3.10 und im Abschnitt 5.3.6. dargestellt sind. Die gemeinsame Behandlung von Abwasser aus einer Papierfabrik oder einem Konsortium aus Papierfabriken in einer kommunalen Abwasserbehandlungsanlage wird dann als BVT angesehen, wenn damit vergleichbare Reinigungsleistungen erzielt werden.

7. Kombinierte anaerobe und aerobe biologische Behandlung. Für nichtdeinkte Papiersorten ist dies die bevorzugte Variante. Bei diesen Papiersorten sind normalerweise höher verschmutzte Abwässer zu behandeln; entweder wegen des höheren Grades an Kreislaufschließung und/oder wegen größerer Mengen an organischen Stoffen, die im Zuge der Stoffaufbereitung in Lösung gehen. Es gibt auch ein paar gute Erfahrungen für die anaerobe Behandlung von Abwasser aus Anlagen zur Herstellung von Deinkingstoff. Die anaerobe Behandlung wird nie als alleinige biologische Abwasserbehandlung eingesetzt, sondern weist immer eine nachfolgende aerobe Behandlung auf. Im Vergleich zur ausschließlichen aeroben Behandlung fällt bei der kombinierten Behandlung beträchtlich weniger Überschussschlamm an (siehe nachfolgende Maßnahmen zur Abfallreduzierung).
8. Teilkreislaufführung von behandeltem Wasser nach biologischer Behandlung. Der mögliche Grad des Wasserrecyclings hängt von den hergestellten Papiersorten ab. Für nichtdeinkte Papiersorten wird diese Maßnahme als BVT angesehen. Allerdings sind die Vor- und Nachteile sorgfältig zu untersuchen und normalerweise sind zusätzliche Behandlungsstufen erforderlich (tertiäre Behandlung).
9. Behandlung interner Wasserkreisläufe. Dies schließt Techniken ein, die dann betrachtet werden sollten, wenn Anlagenteile ersetzt werden oder in Gebieten, in denen strengere Umweltanforderungen zu erfüllen sind. Normalerweise werden nur Teilströme behandelt, die bestimmte zu reduzierende Stoffe aufweisen. Obwohl geschlossene Kreislaufsysteme mit integrierter biologischer Behandlung des Prozessabwassers in einigen europäischen Fabriken für nichtdeinkte Papiersorten großtechnisch im Einsatz sind, wird diese Technik noch nicht als BVT angesehen. Dies ist deshalb der Fall, da die durch Ausfällung von Calciumcarbonat in den Leitungen und im Belüftungsbecken der Belebtschlammanlage auftretenden Probleme noch einer befriedigenden technischen Lösung zugeführt werden müssen.

Es ist schwierig, für die Abwasserbelastung vor der biologischen Behandlung verlässliche Zahlenangaben zu machen, weil für diese Emissionen nur selten transparente Angaben berichtet werden. Z.B. ist es oft unklar, welche prozessintegrierten Techniken zur Erreichung der berichteten Emissionsniveaus bei alleinigem Einsatz der Primärbehandlung eingesetzt werden. Die Abwasseremissionen vor der Behandlung hängen in großem Ausmaß von der Qualität der eingesetzten Rohstoffe (Altpapier, chemische Additive) und der Verfahrenstechnik (Konsistenz, Temperatur, alkalische Behandlung, Wasserkreislaufkonzept) ab. Es wird davon ausgegangen, dass die Fabriken nicht BVT darstellen, sondern als einige real existierende Beispiele fungieren, die Hinweise zu Abwassereinleitungen ohne biologische Behandlung geben können. Folglich beziehen sich die Werte in Tabelle 5.30 nur auf Abwassereinleitungen aus Fabriken, in denen nur eine primäre Abwasserbehandlung zum Einsatz kommt.

Beispiele für Altpapier verarbeit. Papierfabriken	Berichtete erreichte Abwasseremissionsniveaus nach ausschließl. Primärbehandlung			Produktionsmenge für 1997 [t/a]	Bemerkungen
Fabriken mit Deinking *	CSB [kg O_2/t]	BSB_5 [kg O_2/t]	Menge [3)] [m^3/t]		
Haindl Papier Schongau, DE	20,2 (2500 mg/l)	10,1 **	8,2	500000 Zeitungsdruckpapier, 40000 SC-Papier, 47000 DIP	Angaben für 1997, 84% DIP, 16% Holzstoff
Haindl Papier (Schwedt), DE	23,0 (1500 mg/l)	11,5 **	15,2	250000 Zeitungsdruckpapier	Angaben für 1997, 100% DIP
Lang Papier Ettringen, DE	15,9 (2100 mg/l)	7,9 **	7,7	129000 Zeitungsdruckpapier, 123000 SC-Papier, 5100 DIP	Angaben für 1997, 88% DIP, 12 % Holzschliff
Sachsen Papier Eilenburg, DE	18,1 (1600 mg/l)	9 **	11,4	284000 Zeitungsdruckpapier, 47000 DIP	Angaben für 1997, 100% DIP, 1998: 10 m^3/t, 13 kg CSB/t
Fabrik 1, Tissue aus Altpapier, DE	47	23,5 **	10	n/v	Altpapiersorten mit niedrigerer Qualität als Rohstoff
Fabrik 2, Tissue aus Altpapier, DE	20	10 **	10	n/v	Altpapiersorten mit mittlerer Qualität als Rohstoff
Fabrik 3, R Tissue aus Altpapier, DE	37	18,5**	11	n/v	Altpapiersorten mit mittlerer Qualität als Rohstoff
Fabrik 4, Tissue aus Altpapier, DE	17,8	9**	17	n/v	Altpapiersorten mit höherer Qualität als Rohstoff
Ohne Deinking					
CSB-Wert aus [Dutch note on BAT, 1996]	20 - 30	10 - 15** (geschätzter Wert)	0 - 5	n/v	Es sind keine Angaben von tatsächlich existierenden Beispielen verfügbar

Notes: n/v = Information nicht verfügbar; D = Deutschland
* Die Angaben für die Fabriken mit Deinkinganlagen sind [Pfitzner, 1999] entnommen; die Angaben für Altpapier verarbeitende Fabriken zur Herstellung von Tissue sind [Zippel, 1999] entnommen
** Der BSB_5-Wert ist mit der Annahme CSB = 2*BSB_5 geschätzt
Es sind keine Werte für Stickstoff und Phosphor im Abwasser vor der biologischen Behandlung angegeben, da N und P dem Papierabwasser zur Versorgung der Biomasse der biologischen Abwasserbehandlungsanlage zugegeben werden

Tabelle 5.30: Beispiele für Jahresemissionsniveaus der Abwasserbelastung nach Primärbehandlung von nur einigen integrierten Altpapier verarbeitende Fabriken mit und ohne Deinking
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, für die Daten verfügbar waren und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden

Wegen der fehlenden Transparenz, ob die Fabriken oder nicht (und zu welchem Ausmaß) ohne biologische Behandlung BVT anwenden, werden keine mit dem Einsatz von BVT erreichten Emissionswerte bei ausschließlicher primärer Abwasserbehandlung angegeben.

Tabelle 5.31 gibt erreichbare Emissionsniveaus für einige Altpapier verarbeitende Papierfabriken in Europa wieder. Es kann angenommen werden, dass sie neben der biologischen Abwasserbehandlung eine geeignete Kombination von BVT einsetzen, aber nicht notwendiger-weise alle.

Beispiele für altpapierverarbeitende Papierfabriken	Berichtete erreichte Abwasseremissionsniveaus nach biologischer Behandlung						Art der Behandlung
Fabriken mit Deinking	CSB	BSB_5	ges-P	Abf. St.	Menge [m^3/t]	Produktion 1997 [t/a]	
Fabrik 1, Zeitungsdruckpapier, DE	300 mg/l (2,1 kg/t)	10 mg/l (0,07 kg/t)	0,4 mg/l	14 mg/l (0,09 kg/t)	7	100000	Belebtschlamm
Fabrik 2, Zeitungsdruckpapier, DE	335 mg/l (5 kg/t)	19 mg/l (0,3 kg/t)	0,4 mg/l	n/v	15	233000 (Daten aus 1996)	Belebtschlamm
Sachsen Papier, Zeitungsdruckpapier, DE	200 mg/l (2 kg/t)	4 mg/l (0,04 kg/t)	0,3 mg/l	n/v	10	355000 (Daten aus 1998)	Tropfkörper + Belebtschlamm
Fabrik 4, Tissue aus Altpapier, DE	100 mg/l (0,9 kg/t)	10 mg/l (0,09 kg/t)	n/v	n/v	9	64000	Belebtschlamm
Ohne Deinking							
Fiskeby board mill, SE	90 mg/l	5 mg/l	0,1 mg/l	5 mg/l	n/v	123000	Hochbelasteter submerser Biofilm (Kaldnes) + Belebtschlamm
Industriewater Eerbeck, (Konsortium von 3 altpapierverarb. Fabriken), NL	85 mg/l	5 mg/l	0,4 mg/l	9 mg/l	n/v	450000 (15% DIP, 5% Holzschliff)	Anaerob/aerob (Belebtschlamm)
Fabrik 1 (haupts.Wellenpapier + wenig Spezialpapier), DE	94 mg/l (0,9 kg/t)	4 mg/l (0,04 kg/t)	0,6 mg/l	17 mg/l	9	120000 Wellenpapier	Anaerob/aerob (Belebtschlamm)
Fabrik 2, Feinkarton, DE	65 mg/l (0,32 kg/t)	5 mg/l 0,02 kg/t)	0,65 mg/l	n/v	5	650000	Tropfkörper + Belebtschlamm
Fabrik 3, Wellenpapier, DE	168 mg/l (1,1 kg/t)	9 mg/l 0,06 kg/t)	1 mg/l	25 mg/l	7	38000	01-8/97: Belebtschl., danach anaerobe/ aerobe Behandlung
Fabrik 4, Wellenpapier, DE	140 mg/l (0,6 kg/t)	5 mg/l (0,02 kg/t)	0,9 mg/l	4 mg/l	4,2	300000	Anaerob/aerob (Belebtschlamm)
Fabrik 5, Wellenpapier, DE	0	0	0	0	0	40000	Integriert (abwasserlos), anaerob/aerob
Fabrik 5, weiße Testliner & Faltschachtelkarton, DE	90 mg/l 0,6 kg/t)	13 mg/l (0,09 kg/t)	1,1 mg/l	n/v	7	120000, (Daten aus 1998)	Anaerob/aerob (Belebtschlamm)

Tabelle 5.31: Beispiele für erreichte Jahresmittelwerte für die Abwasseremissionen einiger Altpapier verarbeitenden Papierfabriken in Europa nach biologischer Behandlung (Bezugsjahr: meist 1997)
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden, und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Die Daten stammen von TWG-Mitgliedern und aus persönlichen Mitteilungen. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denjenigen des jeweiligen Landes. In Schweden sind BSB-Werte als BSB_7-Werte angegeben.

Unter der Annahme einer geeigneten Konzeption und einer ausreichenden Kapazität der Abwasserbehandlungsanlage sowie eines geeigneten Betriebes und Überwachung werden in der nachfolgenden Tabelle die mit einer Kombination aus BVT erreichten Emissionsniveaus angegeben. Die Abwasserfrachten beinhalten diejenigen aus dem Zerfasern, dem Bleichen, dem Deinken und der Papierherstellung.

Trotz der großen Anzahl an unterschiedlichen Arten an aus Altpapier hergestellten Papierprodukten kann die Feststellung getroffen werden, dass Papierfabriken, die BVT umgesetzt haben, relativ ähnliche Abwasseremissionen erreichen. Deshalb wurden in Anbetracht der Abwassereinleitungen nach geeigneter Behandlung des Abwassers aus den verschiedenen Kategorien der Papierherstellung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Papiersorten festgestellt.

Parameter	Einheiten	ohne Deinking [4]	mit Deinking [1]	Tissue auf Basis Altpapier
BSB_5	kg/t Papier	<0,05 - 0,15 [5]	<0,05 - 0,2 [5]	<0,05 - 0,5 [5]
CSB	kg/t Papier	0,5 - 1,5	2,0 - 4,0	2,0 - 4,0
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t Papier	0,05 - 0,15	0,1 - 0,3	0,1 - 0,4
AOX	kg/t Papier	<0,005	<0,005	<0,005
ges-P	kg/t Papier	0,002 - 0,005 [2]	0,005 - 0,01 [2]	0,005 - 0,015 [2]
ges-N	kg/t Papier	0,02 - 0,05 [2]	0,05 - 0,1 [2]	0,05 - 0,25 [2]
Abwassermenge	m^3/t Papier	<7	8 - 15	8 - 25 [3]

Erklärungen:

1) Eine Mischung von anderen Faserarten (wie Holzschliff, Holzstoff oder CTMP) kann mit unterschiedlichen Anteilen im Bereich von 0 - 30 % der Stoffzusammensetzung eingesetzt werden.
2) Die N- und P-Emissionen hängen von der optimierten Dosierung dieser Nährstoffe zur biologischen Abwasserbehandlungsanlage ab. Zur Erreichung von niedrigen Emissionen ist eine bestimmte Feineinstellung der Nährstoffzugabe erforderlich.
3) Bei der Tissueproduktion gibt es eine Reihe von Faktoren, die zu einem etwas höheren spezifischen Wasserverbrauch führen können: Niedrigeres Flächengewicht des hergestellten Papiers (bis zu 12 g/m^2), höherer Reinheitsgrad des Produktes, häufige Wechsel der Papiersorte und der Farben, niedrigere Geschwindigkeit der Papiermaschinen und der Einsatz von Prozessen, die wegen des höheren Drucks für die Spritzrohre mehr Wasser benötigen. Deshalb wird für die Herstellung von Tissue ein Prozesswasserbedarf von 8 – 25 m^3/t als BVT angesehen.
4) Die Herstellung von gestrichenem Karton benötigt etwas mehr Wasser als die Herstellung z.B. von Testliner, Wellenstoff oder ungestrichenem Karton (7 - 15 m^3/t). Deshalb gilt der obere Wert für die mit den BVT erreichten Emissionswerte für gestrichenen Karton.
5) Der untere Wert des Bereiches für die BSB-Emissionen deutet eine fast vollständige Entfernung der biologisch abbaubaren Stoffe an. Er sollte als solcher verstanden und nicht als exakte Zahl begriffen werden.

Tabelle 5.32: Jahresmittelwerte für die bei Einsatz der BVT erreichten Emissions- und Verbrauchsniveaus für Altpapier verarbeitende (> 50% Altpapier) Papierfabriken mit Deinking (z.B. Zeitungsdruckpapier, Kopierpapier, in einigen Fällen Faltschachtelkarton) und ohne Deinking (z.B. Fabriken zur Herstellung von weißem Topliner/Testliner/Wellenstoff/Wellenpapier)

Die Emissionsdaten beziehen sich auf Altpapier verarbeitende Papierfabriken. Allerdings gibt es eine wachsende Anzahl von europäischen Fabriken, die unterschiedliche Arten der Stoffzusammensetzung verwenden. Ein Teil des Stoffeintrages kann aus zurückgewonnenen Fasern, ein Teil aus der Holzstoffherstellung vor Ort und ein anderer Teil aus zugekauftem Zellstoff bestehen. Die BVT-Emissionsniveaus für diese Art Fabriken werden in den Abschnitten 4.4 und 6.4. vorgestellt.

Die Abwasseremissionen werden nur für drei verschiedene Gruppen wiedergegeben: Papiersorten ohne Deinking; deinkte Papiersorten und Fabriken zur Herstellung von Tissue auf Altpapierbasis. Bezüglich der Abwasseremissionen sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Papiersorten nicht sehr ausgeprägt. Z.B. können Altpapier verarbeitende Fabriken zur Herstellung von Druck- und Schreibpapier ähnliche Emissionsbereiche wie solche Fabriken erreichen, die Zeitungsdruckpapier auf Basis von Altpapier herstellen.

In Europa besteht bei den Fabriken ohne Deinking die größte Gruppe aus Fabriken, die Material zur Produktion von Wellpappe (Testliner, Wellenstoff und Wellenpapier) herstellen. Andere Fabriken stellen aus Altpapier Karton und Faltschachtelkarton her. Letztere setzen unter-schiedliche Altpapierqualitäten und Stoffaufbereitungsprozesse für die unterschiedlichen Schichten des Mehrschichtenkartons ein. Einige Fabriken setzen bis zu einem gewissen Grad zugekauften gebleichten Zellstoff ein. Einige Schichten können aus Deinkingstoff bestehen. Allerdings liegen die mit Einsatz der BVT erreichten Abwasseremissionsniveaus dieser Fabriken entsprechend Tabelle 5.32 im gleichen Bereich wie die Emissionen aus Altpapier verarbeitende Papierfabriken ohne Deinking. Auf der anderen Seite kann der Wasserverbrauch etwas höher sein, besonders wenn Papier und Karton in Fabriken hergestellt werden, die auf der gleichen Maschine unterschiedliche Papierqualitäten produzieren. Es gibt Beispiele für Altpapier verarbeitende Fabriken zur Herstellung von Karton, die Faltschachtelkarton herstellen und den Deinkingprozess einsetzen, um auf Basis einer niedrigeren Qualität der Altpapiersorten die vorgeschriebene Produktqualität zu erreichen. Für solche Fabriken sind die zu betrachtenden Techniken wie für alle anderen mittels Deinking hergestellten Kartonsorten die gleichen wie für deinkte Papiersorten.

Bei einer großen Anzahl von Tissue-Fabriken besteht die Hauptfaserquelle aus zurückgewonnenen Fasern. Sie können unterschiedliche Mischungen aus zurückgewonnenen Fasern und Frischfasern einsetzen. Wenn sie hauptsächlich Deinkingstoff verwenden, setzen sie oft bessere Altpapierqualitäten als Rohstoff ein. Der vorstehenden Tabelle kann entnommen werden, dass die daraus resultierenden Abwasseremissionen mit anderen deinkten Sorten vergleichbar sind. Allerdings gibt es für die Tissue-Herstellung eine Reihe von Faktoren, die zu einem etwas höheren spezifischen Wasserverbrauch führen können.

Die vorstehende Tabelle 5.32 ist im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen zu verstehen:

BSB: Sofern die Einhaltung des geeigneten C:P:N-Verhältnisses und die ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet sind, wird der BSB im Abwasser aus Altpapier verarbeitenden Papierfabriken in sorgfältig ausgelegten Behandlungsanlagen fast vollständig (95 + x%) entfernt. Die BSB_5–Konzentrationen liegen gewöhnlich deutlich unter 25 mg O_2/l und können Werte bis zu 5 mg O_2/l erreichen, d.h. der BSB wird nahezu vollständig entfernt. BSB_5–Werte unter 5 mg O_2/l sind in genauer und reproduzierbarer Art und Weise schwer zu messen. Sie sind als Werte nahe der Nachweisgrenze zu verstehen. In Abhängigkeit von der Abwassermenge korrespondieren diese Reinigungsleistungen mit BSB_5-Emissionsfaktoren von < 0,05 kg O_2/t bzw. 0,3 kg O_2/t.

CSB: Der Deinkingprozess führt im Vergleich zu Verfahren ohne Deinking zu höheren CSB-Emissionen. Die Faktoren wie eingesetzte Rohstoffe, hergestellte Papiersorte, angewandte prozessintegrierte und nachsorgende Maßnahmen und der spezifische Wasserverbrauch haben einen Einfluss auf die schlussendlich sich ergebende Schmutzfracht. Bei Einsatz der BVT sind CSB-Konzentrationen zwischen unter 100 mg O_2/l bis zu 200 mg O_2/l (ohne Deinking) und 200 mg O_2/l bis 300 mg O_2/l (mit Deinking) erreichbar.

Abfiltrierbare Stoffe: Bei normalen Betriebsverhältnissen ist das Abwasser nach der zweiten Sedimentationsstufe völlig klar und weist einen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Bereich von unter 10 bis 30 mg/l auf. Dies entspricht Emissionsfaktoren von 0,1 – 0,3 kg abf. St./t. Die Werte hängen von der Oberflächenbeschickung der zweiten Sedimentationsstufe und den Eigenschaften des Belebtschlammes ab.

AOX: Heutzutage ist die Ableitung von chlororganischen Verbindungen sehr niedrig, da der Chlorgehalt des zurückgewonnenen Originalpapiers mit den Jahren zurückgegangen ist. In Papierfabriken, die Frischfasern einsetzen, wird normalerweise entweder ECF- oder TCF-gebleichter Zellstoff eingesetzt, was sich auch in niedrigeren AOX-Frachten im Abwasser aus Altpapier verarbeitenden Fabriken niederschlägt. Die Belebtschlammbehandlung führ zu einer weiteren AOX-Reduktion zwischen 30 and 50 %. Allerdings wird diese Reduktion zum Teil durch Strippung dieser Verbindung im Laufe der Abwasserbehandlung erreicht. In Abhängigkeit von der Art des Altpapiers und den Chemikalienzusätzen leiten Altpapier verarbeitende Fabriken normalerweise chlorierte organische Verbindungen unter 0,3 mg/l bzw. unter 0,004 kg/t ein.

N und P: Zur Einhaltung des C:P:N-Verhältnisses, das für das Wachstum des Belebtschlammes von entscheidender Bedeutung ist, müssen für die biologische Behandlung gewöhnlich mineralische Nährstoffe zugeführt werden. Um das Gleichgewicht zwischen biologisch abbaubaren Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen zu finden und aufrecht zu erhalten, ist eine bestimmte Feineinstellung der Nährstoffzugabe erforderlich. Normalerweise werden Phosphor als Phosphorsäure und Stickstoff in Form von Harnstoff zugegeben. Sofern das System gut optimiert ist, betragen die erreichbaren Nährstoffemissionen unter 1 mg ges-P/l und 5 mg ges-N/l. Die entsprechenden Frachten liegen bei 0,005 – 0,01 kg P/t bzw. bei 0,05 – 0,1 kg N/t mit Deinking und wegen der geringeren Abwassermenge etwas niedriger bei Fabriken ohne Deinking.

Maßnahmen für die Reduktion der Abgasemissionen

Die Abgasemissionen aus Papierfabriken auf Basis von Altpapier sind hauptsächlich mit den Kraftwerken zur Produktion von Wärme und Strom verbunden. Die Einsparung von Wärme und Strom geht deshalb mit der Reduktion von Abgasemissionen einher. Die Kraftwerke sind üblicherweise Standardkessel und können wie jedes andere Kraftwerk behandelt werden. Deshalb werden die allgemein anerkannten BVT in diesem Abschnitt nur kurz erwähnt. Zur Verminderung der Abgasemissionen stehen folgende Maßnahmen zur Verfügung:

1. Kraft-Wärme-Kopplung.

2. Verbesserung der bestehenden Dampfkessel durch Einbau von Technologien mit niedrigen NO_x-Emissionen und durch Einsatz von Brennstoffen mit niedrigem Schwefelgehalt oder durch Behandlungstechniken zur Verminderung der Schwefelemissionen.
3. Einsatz erneuerbarer Energiequellen wie Holz oder Holzabfall zur Reduktion der Emissionen an fossilem CO_2 (nur einsetzbar in Altpapier verarbeitende Papierfabriken, die eine Straße zur Frischzellstoffherstellung betreiben).

Die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus aus Hilfskesseln, in denen fabrikeigene Biobrennstoffe und/oder andere fossile Brennstoffe verbrannt werden, sind in Tabelle 5.33 zusammengestellt. Es ist anzumerken, dass Hilfskessel in der Zellstoff- und Papierindustrie von sehr unterschiedlicher Größe sein können (von 10 bis über 200 MW). Bei kleineren Kesseln kann zu vernünftigen Kosten nur die Verwendung von Brennstoff mit niedrigem S-Gehalt und von Verbrennungstechniken mit niedrigeren NO_x-Emissionen zum Einsatz kommen, während für größere Anlagen auch Verminderungstechniken in Frage kommen. Dieser Unterschied spiegelt sich in der folgenden Tabelle wider. Die obere Grenze der angegebenen Bereiche gilt für kleinere Anlagen und kann ausschließlich durch die Brennstoffqualität und durch interne Maßnahmen erreicht werden; die untere Grenze (in Klammern) ist mit zusätzlichen Verminderungsmaßnahmen wie SNCR verbunden und kommt als BVT nur für größere Anlagen in Frage.

Emittierte Stoffe	Kohle	Schweröl	Gasöl	Gas	Biobrennstoffe (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoff-einsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	25 - 50	< 5	< 15
mg NO_x/MJ Brenn-stoffeinsatz	80 - 110 [2] (50 - 80 SNCR)[3]	80 - 110 [2] (50 - 80 SNCR)[3]	45 - 60 [2]	30 -60 [2]	60 - 100 [2] (40 - 70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] bei 6% O_2	10 - 40 [4] bei 3 % O_2	10 - 30 bei 3% O_2	< 5 bei 3% O_2	10 - 30 [4] bei 6% O_2

Anmerkungen:
1) Die Schwefelemissionen aus öl- oder kohlebefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Öl oder Kohle mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine bestimmte Reduzierung der S-Emissionen kann durch Einblasen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Bei ausschließlichem Einsatz der Verbrennung
3) Sekundärmaßnahmen wie SNCR werden auch eingesetzt; nur bei größeren Anlagen
4) Erreichte Werte bei Einsatz von Elektrofiltern
5) Bei Einsatz eines Wäschers; wird nur bei größeren Anlagen eingesetzt

Tabelle 5.33: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe

Für gestrichene Papiersorten wird die sorgfältige Auswahl der Streichfarbenrezepte als BVT angesehen. Durch diese Maßnahme kann die Emission an flüchtigen organischen Stoffen und einigen kritischen Einzelstoffen wie z.B. Acrylnitril oder Formaldehyd, die in Abgas von Streichmaschinen auftreten können, vermieden oder reduziert werden. Es sind besonders Streichfarbenrezepte zu vermeiden, die karzinogene Stoffe enthalten.
Örtliche Belästigungen durch unangenehme Gerüche können durch verfahrenstechnische Maßnahmen oder, wenn die biologische Abwasserbehandlungsanlage die Hauptquelle für Gerüche darstellt, durch sorgfältig ausgelegte und überwachte Anlagen vermieden werden.

Maßnahmen zur Reduzierung von festen Abfällen

Zur Reduzierung der Menge der zu deponierenden festen Abfälle werden nachfolgende Maßnahmen als BVT angesehen:
1. Weitestgehende Verminderung des Anfalles von festen Abfällen und, soweit wie möglich, ihre Rückgewinnung, Rückführung und ihr Wiedereinsatz.
2. Separate Erfassung der Abfallfraktionen am Ort ihrer Entstehung und, falls erforderlich, Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfall, um einen größeren Anteil wieder zu verwenden oder zu recyclieren anstatt sie zu deponieren.
3. Optimierung der Faserrückgewinnung durch Modernisierung der Faserstoffaufbereitungs-anlagen.
4. Optimierung der Anzahl an Reinigungsstufen für die Faserstoffaufbereitung.

5. Entspannungsflotation zur Rückgewinnung von Fasern und Füllstoffen und zur Klärung des Prozesswassers. Bei der Erarbeitung von Konzepten für Stoffaufbereitungsanlagen (wie unter den Punkten 3 bis 5 erwähnt) muss ein Gleichgewicht zwischen der Reinheit des Faserstoffs, den Faserverlusten, der Produktqualität, dem Energiebedarf und den Kosten gefunden werden.
6. Anaerobe biologische Vorbehandlung des Abwassers.
   Im Vergleich zur alleinigen aeroben Abwasserbehandlung fällt bei der kombinierten anaeroben/aeroben Behandlung weniger Überschussschlamm an.
7. Effiziente Rejekt- und Schlammbehandlung vor Ort (Entwässerung) zur Erhöhung des Feststoffgehaltes, um so die Verbrennungseigenschaften zu verbessern. Der nach der Entwässerung der Rejekte und des Schlammes erreichte Feststoffgehalt hängt hauptsächlich von der Charakteristik des Schlammes und der technischen Einrichtung für die Entwässerung ab. Höhere Feststoffgehalte bedeuten gewöhnlich den Transport von kleineren Mengen und einen höheren Heizwert des Schlammes, was im Falle einer Rückstandsverbrennung von besonderem Interesse ist.
8. Reduktion der Menge an zu deponierendem Abfall. Ausfindigmachen von Möglichkeiten für Rückgewinnungsmaßnahmen und, wenn machbar, stoffliche Wiederverwendung des Abfalls oder Verbrennung der Rejekte und des Schlammes mit Energierückgewinnung. Die anfallende Asche kann oft als Rohstoff in der Bauindustrie verwendet werden. Für die Verbrennung von Rejekten und Schlamm sind verschiedene Möglichkeiten verfügbar. Die Anwendbarkeit ist durch die Fabrikgröße beschränkt. In einigen Fällen (z.B. bei Tissue-Fabriken), wenn die Menge an zu deponierendem Abfall durch Verbrennungstechniken reduziert wird, ist der Einsatz von Stützbrennstoff oder die Zugabe von Rückständen mit höherem Heizwert (z.B. Rinde, Holzabfall) erforderlich.

In Abhängigkeit von der Qualität der für die Produktion eingesetzten Altpapiere und von den zu erreichenden Produkteigenschaften schwankt die Menge an festem Abfall. Sowohl die Verarbeitung von unteren Altpapierqualitäten als auch die Herstellung von höheren Papierqualitäten aus ähnlichen Rohstoffen führt zu einem erhöhten Anfall an Rejekten. Im Allgemeinen fällt bei der Herstellung von nichtdeinkten Papiersorten weniger fester Abfall als bei der Herstellung von deinkten Papiersorten an. Innerhalb der deinkten Papiersorten treten relevante Unterschiede auf. Z.B. fallen bei der Herstellung von Druck- und Schreibpapieren aus Altpapier im Vergleich zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier normalerweise größere Mengen an festem Abfall an, vor allem wenn die Durchführung von Waschdeinking notwendig ist. Für grafische Papiere besteht der Trend zum Einsatz besserer Altpapierqualitäten. Bei der Herstellung von Tissue auf Basis von Altpapier ist das Auswaschen der Füllstoffe und Feinstoffe durch Waschdeinking notwendig. Bei diesem Prozess fallen im Vergleich zu anderen deinkten Papiersorten beträchtlich höhere Mengen an Abfall an, der verarbeitet und weiter behandelt werden muss.

Es werden keine mit den BVT erreichten Niveaus an zu deponierenden Abfallmengen genannt, da sie hauptsächlich vom Grad der Wiederverwendung, den gewählten Behandlungs-möglichkeiten und der Qualität des als Faserrohstoff eingesetzten Altpapiers abhängen. Zusätzlich gibt es wenig detaillierte und verlässliche Informationen zu den erreichbaren Mengen an festen Abfällen aus Altpapier verarbeitenden Papierfabriken. Es besteht eine Lücke an vergleichbaren statistischen Daten und es werden in Europa verschiedene Begriffe für die unterschiedlichen Abfallfraktionen verwendet.

Energiesparmaßnahmen

Im Allgemeinen wird in diesem Industriesektor der Einsatz von energieeffizienten Technologien als BVT angesehen. In vielen Stufen innerhalb des Produktionsprozesses sind zahlreiche Optionen zur Energieeinsparung verfügbar. Üblicherweise sind diese Maßnahmen mit Investitionen für den Ersatz, den Umbau oder die Modernisierung von Anlagenteilen verbunden. Wegen des Großbetriebsvorteils sind kleinere Fabriken weniger in der Lage, in neue energieeffiziente Technologien zu investieren. Es ist anzumerken, dass Energieeinspar-maßnahmen meist nur zur Energieeinsparung eingesetzt werden. Die Produktivität, die Verbesserung der Produktqualität und die Reduktion der Kosten insgesamt bilden die wichtigste Grundlage für Investitionen. Energiespartechnologien sind deshalb als solche Techniken anzusehen, die Bestandteil vieler weiterer Aspekte der Papierherstellung sind.

Zur Reduktion des Energieverbrauchs stehen folgende Maßnahmen zur Verfügung:

1. Einführung eines Systems zur Erfassung des Energieeinsatzes und der Effektivität des Energieeinsatzes. Auf der Grundlage zuverlässiger Informationen hinsichtlich der Effektivität des Energieeinsatzes können geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Ein Energiemanagement beinhaltet die Festlegung, die Überwachung, die Überprüfung und die Überarbeitung von Zielen für den effektiven Energieeinsatz.
2. Modernisierung von Anlagenteilen. Beim Ersatz von Anlagenteilen durch solche mit geringerem Energieverbrauch bieten sich automatisierte Kontrollsysteme anstelle von herkömmlichen manuellen Systemen an. Automatisierte Kontrollsysteme erlauben eine effizientere Kontrolle, was zu einer genaueren Prozessführung und zu höheren Energieeinsparungen führen kann (siehe auch Abschnitt 6.3.8).
3. Einsatz der anaeroben Abwasserbehandlung. Der Energieverbrauch ist im Vergleich zur aeroben Behandlung zehnmal niedriger und das anfallende Methangas kann als Brennstoff genutzt werden. Die anaerobe Behandlung ist nicht immer einsetzbar. Das Abwasser muss die in Abschnitt 5.3.5. genannten Mindestanforderungen erfüllen.

Für weitere Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, die im Allgemeinen in Papierfabriken angewandt werden können, wird auf Abschnitt 6.3.18. verwiesen. Die wichtigsten Verbesserungsmöglichkeiten, die in diesem Abschnitt dargestellt werden, sind z.B. die Optimierung der Entwässerung auf der Siebpartie und der Einsatz einer Schuhpresse (siehe Abschnitt 6.3.17) und der Einsatz energieeffizienter Technologien. An dieser Stelle wird auch die Reduktion des direkten Dampfeinsatzes durch sorgfältige Prozessintegrierung unter Anwendung der Pinch-Analyse erwähnt.

In vielen europäischen Ländern sind öffentlich zugängliche Informationen über die Energiebilanz von Papierfabriken nur spärlich verfügbar. Es sind unterschiedliche Berichtssysteme im Einsatz. Auch hängt der Energiebedarf von der Produktqualität (z.B. dem Ausmaß der Mahlung) und teilweise von den örtlichen Bedingungen ab. Deshalb ist es schwierig, die mit den BVT erreichbaren Energieverbrauchswerte anzugeben. Die in Tabelle 2.46 enthaltenen Bereiche für den Energieverbrauch von Papierfabriken sollten nur als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch von Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Holzstoff- und Papierfabriken genommen werden. Weitere Beispiele für energieeffiziente Fabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen könnten der überarbeiteten Version dieses BREFs hinzugefügt werden.

Fabriktyp	Prozesswärmever-brauch (netto) in GJ/t [1)]	Stromverbrauch (netto) in MWh/t [1)]
Herstellung von Testliner und Wellenstoff auf Altpapierbasis, ohne Deinking	6,0 – 6,5	0,7 – 0,8
Herstellung von Karton und Faltschachtelkarton auf Altpapier-basis, ohne Deinking	8,0 – 9,0	0,9 – 1,0
Herstellung von Zeitungsdruckpapier auf Altpapierbasis, mit Deinking	4,0 – 6,5	1,0 – 1,5
Herstellung von Tissue auf Altpapier-basis, mit Deinking	7,0 – 12,0 [2)]	1,2 – 1,4
Erklärungen: Die Einheiten können wie folgt von MWh in GJ umgerechnet werden: 1 MWh = 3,6 GJ und 1 GJ = 0,277 MWh 1) Alle Daten von [J. Pöyry, 1998] 2) In Tissue-Fabriken hängt der Energieverbrauch hauptsächlich vom eingesetzten Trocknungssystem ab. Die Lufttrocknung und das Kreppen verbrauchen beträchtliche zusätzliche Energiemengen. Tissue-Fabriken setzen für die Trocknung anstelle von Dampf Primärbrennstoff ein (die meisten Hochleistungshauben sind direkt gasbefeuert).		

Tabelle 5.34: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Wärme- und Stromverbrauch für unterschiedliche Arten von Altpapierfabriken

Lärmminderungsmaßnahmen

BVT ist die Reduktion der wahrnehmbaren Lärmpegel in der Nachbarschaft der Papierfabriken. Die eingesetzten Maßnahmen hängen in großem Umfang von den spezifischen Lärmproblemen einer Fabrik und von den gesteckten Zielen ab. Normalerweise sind umso aufwändigere Maßnahmen erforderlich, je näher die Fabrik in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Wohngebiet liegt.

Chemikalieneinsatz

Im Allgemeinen wird hinsichtlich des Chemikalieneinsatzes folgendes als BVT angesehen:

1. Sicherstellung der Verfügbarkeit einer Datenbank für alle eingesetzten Chemikalien und chemischen Additive, die Informationen zur chemischen Zusammensetzung der Stoffe, zur Abbaubarkeit, zu ihrer Toxizität für Mensch und Umwelt und zum Bioakkumulations-potenzial enthält.
2. Anwendung des Substitutionsprinzips, d.h. Einsatz von weniger gefährlichen Produkten bei gegebener Verfügbarkeit.
3. Maßnahmen zur Vermeidung betriebsstörungsbedingter Freisetzungen von Chemikalien in den Boden oder ins Wasser beim Umgang und der Lagerung von Chemikalien.
   Konzeption und Betrieb der Einrichtungen in solcher Weise, dass diese gefährlichen Stoffe nicht in die Umwelt gelangen können.

5.5 Emerging Techniques

In this paragraph a number of techniques are mentioned which are not (yet) applied at industrial scale. Other techniques have reached a more advanced stage of development but are still not considered as available.

5.5.1 Advanced effluent treatment with a combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors

Description: Secondary treatment of wastewater from paper mills is applied in numerous mills in Europe thus reducing emissions to water significantly. However, present developments in the industry are trying to further reduce releases of organic substances and waste heat by combining process-integrated measures with external measures. Advanced treatment of remaining pollutants after biological treatment is aiming at a further reduction of COD, AOX, colour and other matters.
Effective advanced effluent treatment - unless partial flows can be successfully pre-treated - is normally downstream the biological stage. A treatment process was developed during the last five years to improve the treated effluent quality in view to stronger environmental regulations and the possibility for the reuse of treated effluent in the process. This tertiary effluent treatment consists of a combination of ozone with fixed bed biofilm reactors and results in a significant elimination of COD, colour and AOX with a minimum of ozone dosage. A typical scheme of this process is shown in Figure 5.18.

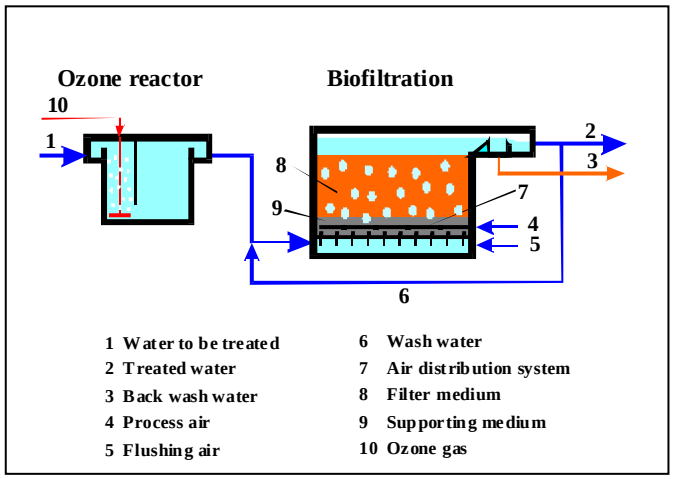


Figure 5.18: Combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors

The treated effluent has a low content of disturbing matters so that the reuse of tertiary treated effluent in the process seems to be an interesting option. That means, the ozone treated water can be either discharged or re-used in production.
The chemical analyse of tertiary treated effluents shows that apart from the elimination of organic matter (measured as COD) other substances are also drastically reduced or eliminated such as colour, AOX, heavily degradable optical brighteners and chelating agents, bacteria and spores.

Status of development: Ozone treatment of biologically purified wastewater for further reduction of residual COD and to improve colour stripping have been tested over some years in laboratory and pilot-scale. These laboratory trials [Öller, 1997 a +b] and investigations on half-technical scale [Möbius, 1996] have shown that ozone treatment can significantly reduce COD and colours depending on the amount of ozone applied. The process can be considered as in a

developed stage. In full-scale applications only the removal efficiency and ozone capacity (kg ozone/h) have to be determined in laboratory or pilot tests.
Generally, it can be expected that this kind of technique will be first applied at mills located at sensitive recipients or by mills which intend to increase significantly capacity and simultaneously have no permit for increasing the load of effluent to the river. In this cases the specific load of substances have to be decreased.
In 1999, the first full-scale treatment consisting of a one-stage combined ozonation and biofiltration will be put into operation (Fa. Lang, Germany).

Environmental implications: The efficiency of ozone treatment depends strongly on the quality of the individual water to be treated and the specific lay out of the treatment system. Therefore, no general statement on the achievable environmental performance is possible. In effluents meeting certain boundary conditions in terms of COD and BOD_5/COD ratios, the bioavailability can be enhanced to allow additional biological treatment. The ozone treated water can then be either discharged or re-used in production.

The main focus of this process however is the transfer of persistent organic compounds (residual COD, AOX, and colour) into biodegradable fractions (only partial oxidation i.e. limited and controlled oxidation of organic carbons). This results in a significant increase of the BOD/COD- ratio. The results of pilot tests with paper mill effluents after biological treatment show that further COD removal efficiencies up to 90 % (referred to COD concentration after secondary clarifier) can be achieved with specific ozone consumption of 0.7 - 1.0 kg O_3/kg $COD_{eliminated}$ after the biofilters. Removal efficiencies of about 50% or more are achieved by one-stage ozonation-biofiltration. COD removal efficiencies of well above 50 % up to 90 % are achieved when the process is operated in two stages. After the first ozonation stage a biofilter degrades partially oxidised organic matter. The second stage consists of another ozonation step followed by a biofilter. This process lay out avoids full oxidation of organic matter by ozonation thus reducing the amount of required ozone and optimising the operation costs. The target of this lay out is not to consume ozone for readily biodegradable matter.

With the exception of the small amount of biological excess sludge produced in the biofilters polluting substances are really eliminated and not only separated. Therefore, this treatment does not generate a concentrate that calls for further treatment, as it is the case when membranes or evaporation are used.
Negative cross-media effects are energy consumption for ozone generation that is in the range of 10 - 13 kWh/kg ozone and a smaller amount of energy consumption for production of pure oxygen.

Economic considerations: Cost estimates have revealed that in comparison to current advanced treatment techniques such as flocculation/precipitation, ozone treatment provides an economically viable alternative under certain conditions.
The specific treatment costs for a one-stage process with biofiltration following ozonation typically amount to under 0.5 Euros per m^3 of treated effluent. This covers total investment and operating costs (ozone generation, pumps, etc.) and includes oxygen supplied as liquid oxygen.
Ozone treatment can also give a more or less complete colour stripping at reasonable costs.

Literatur/Quellenangaben: [Öller, 1997 a +b], [Möbius, 1997 a], [Möbius, 1999], [Helble, 1999], [Kaindl, 1999]

5.5.2 Membrane bioreactor for end-of-pipe or (partly) in-line treatment

Description: Membrane bioreactors (MBR) are combined separation-oxidation processes. They have two main functions:

1. Enhanced biological oxidation (decomposition of organic material). Enhanced because the conditions in a membrane bioreactor are such as to encourage biomass adaptation (long sludge age and absolute retention of biomass (no clarifier acting as a biomass selector)).
2. Separation of solids and liquid by use of a membrane process.

This new generation of membrane bioreactors is using immersed shell-less membranes instead of external modules as shown in the figure below.

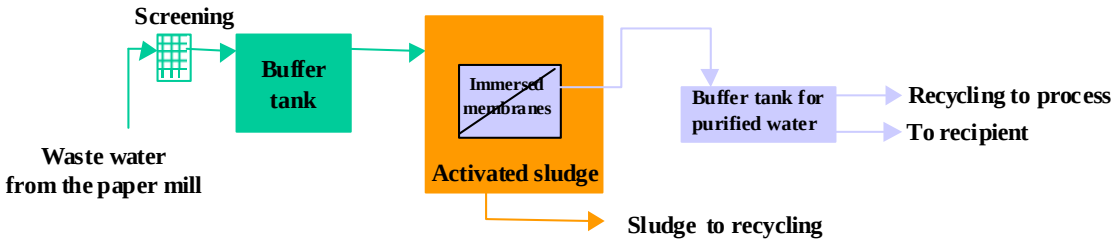


Figure 5.19: Membrane bioreactor using immersed membranes in an activated sludge reactor

The membranes are immersed directly into the biomass of the activated sludge plant and operated at very low transmembrane pressures (0.2 bar typically). The energy consumption of this process is only 0.2 kWh/m^3 for the filtration (including pumping, and membrane aeration for turbulence promotion) compared to 4 to 8 kWh/m^3 for external loops MBRs (figures are referring to the conditions of the so-called BIOSEP reactor).

Status of development: The first full-scale application went into operation in 1999 at a French cardboard mill (Papeterie du Rhin). In the case of this cardboard mill the sludge will be reinjected in the pulper. The design flow rate is relatively small (900 m^3/day). The operators of the mill will slowly try to increase the fraction of the treated water recycled back to the mill.

Environmental implications: For some types of mills, which could not meet discharge limits (e.g. when they have slightly higher concentration or loads) an MBR could allow them to reach their discharge limits. But the process could also be used as pre-treatment for downstream separation/concentration processes such as nano-filtration (NF) or evaporation. This application might be interesting for operators of paper mills who think to use MBRs in their mill-water circuit closure plans, allowing e.g. to use cheaper NF configurations and to meet more stable operating conditions.

Membrane bioreactors can produce a lot less sludge (up to half) than a conventional biological treatment, because of the specific characteristics of the active biomass growing in those MBR applications.

Economical considerations: No data available

Literatur/Quellenangaben: There are different suppliers of submersed membrane bioreactors.

5.5.3 Recovery of boiler ash and carbon dioxide gas to produce recycled mineral fillers for use in paper.

Description: A new chemical process utilises both ash which results from the combustion of de-inking residue and carbon dioxide generated during combustion to produce a type of recycled mineral filler precipitated calcium carbonate (RMF PCC) for use in paper. The new process is one that derives from the chemistry used to produce pure precipitated calcium carbonate (PCC), a commonly used mineral in papermaking. Precipitated calcium carbonate is

chemically identical to natural calcium carbonate (ground limestone or chalk), but generally is more pure. The main advantage to the papermaker, however, is that the chemical process of their production allows individual PCC particles to assume a variety of shapes and sizes (morphologies). Careful selection of size and shape can maximise PCC functionality over a wide range of papermaking applications. These advantages are also imparted to the paper when RMF PCC is used as the filler.

The process to produce a recycled mineral filler PCC (RMF PCC) can be described by the following equation:

Materials	Boiler Ash	+ $Ca(OH)_2$	+ CO_2	=> Ash/$CaCO_3$	+ H_2O
Quantities	5-50g	37-70g (fresh lime)	22-43g	100g **(Recycled Mineral Filler)**	9-18g

The ash resulting from the combustion of paper mill residuals or deinking sludge contains mainly compounds rich in calcium, silicon and aluminium. These result from the minerals contained in the waste, mainly calcium carbonate ($CaCO_3$) and kaolin clay ($H_2Al_2Si_2O_8$-H_2O).

It has been discovered that the calcium aluminosilicate minerals in boiler ashes are suitable for nucleation and growth of PCC. It has also been discovered that these ashes can replace up to one-half the lime (CaO) that is used to produce calcium hydroxide slurry. Individual particles of RMF PCC are composites of PCC and boiler ash. The reaction is controlled, so that PCC of a particular morphology precipitates on and covers the surface of an ash "core". The process has been patented (U.S. 5,759,258) and is supplied by Speciality Minerals Inc (SMI), one of the leading suppliers of precipitated calcium carbonate (PCC) to the European Paper Industry.

Status of development: A German paper mill (Haindl Schongau) is carrying out pilot test to adapt the existing plant for production of pure PCC to the production of recycled mineral filler PCC. Development work on the use of PCC for coating is also underway.

Environmental implications: The process reduces significantly the amount of solid waste to be deposited from deinking plants. Utilisation of boiler ash as a raw material in the production of precipitated calcium carbonate (PCC) reduces consumption of fossil fuels for production of CaO from limestone quarry ($CaCO_3$) by up to 50%, and thus reduces emissions of CO_2 by a corresponding amount. If paper mills that generate large quantities of deinking residuals reduce the amount of solid waste from the deinking process by incineration, CO_2 is emitted to air, and ash must still be disposed. A process to produce RMF PCC can partly or completely consume ash and CO_2 generated at these mills. This is in addition to reductions at the limestone quarry in both fossil fuel consumption and CO_2 emissions. The main principle of the process itself and the major benefits are summarised in the illustration below.

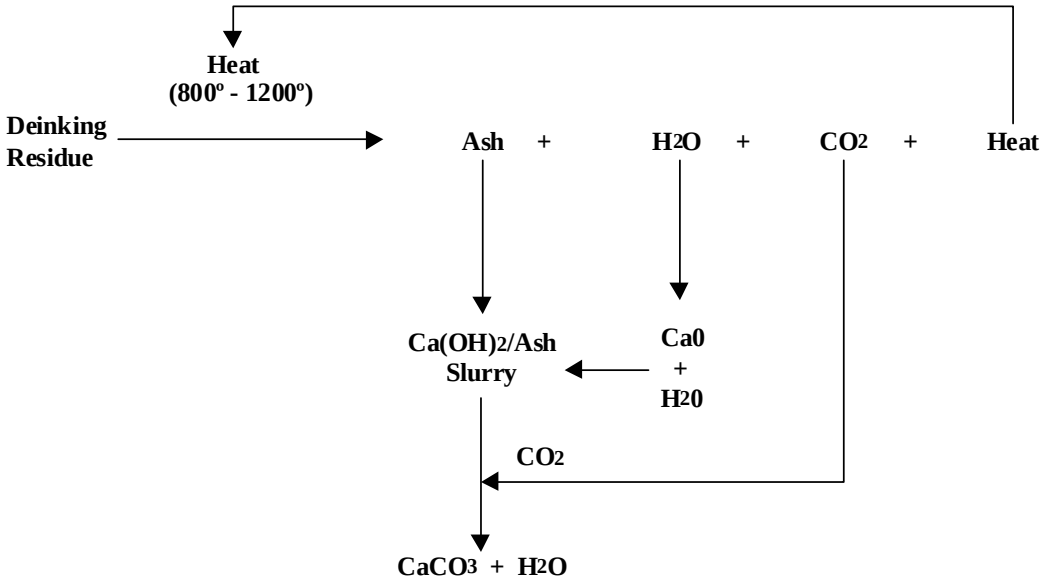


Figure 5.20: The main principles of the RMF PCC process
Reproduced from "Recycling of Mineral Fillers from the Residue of a Paper Deinking Plant", Sohara et. al., U.S. 5,759,258, 1998

Economical considerations: In countries where cost of landfill is high and rising the option of handing over de-inking ash as a raw material for production of precipitated calcium carbonate (PCC) is appealing since it makes both economic and environmental goods. However, the brightness of Recycled Mineral Filler PCC, based on a realistic mixture of one third ash, and two thirds of pure PCC, is 90% and thus lower than pure PCC (96%). It might also raise abrasivity. On the other hand RMF PCC has better opacity properties than pure PCC. The economics of recycled mineral filler PCC depend very much on the quality of the recovered paper from which the de-inking residue is produced (high amounts of calcium carbonate fillers are beneficial). The higher the calcium contents in the recovered paper, the better for the operation of this process.
A prerequisite for the implementation of recycled mineral filler PCC is the presence of a boiler combustion of de-inking residue. Normally, the plant producing pure PCC is adapted for recycled mineral filler PCC production. Step by step, lime is replaced by de-inking ash.

Literatur/Quellenangaben: [Roberts, 1998]

5.5.4 "Kidney" treatment - Techniques for further circuit water cleaning

Refer also to Section 6.5.1.

Description: A low wastewater load can be achieved by a combination of a suitably designed process water system and internal wastewater purification. Process water in the paper industry is used for a number of different applications, with different water quality requirements. Hydraulic separation of different process units creates relatively small internal water circuits, which can be treated more efficient.

Water circuit closure is currently restricted by various contaminants (disturbing substances) in the process water, which have a disruptive effect on either the technology or the product. Separation of process units from each other (e.g. by use of thickeners) makes it possible to remove disturbing substances inside the process unit in which they are generated in order to prevent contaminants travelling through the whole papermaking process. The contaminants in

the separated water loops can be (partial) removed from the water circuit in question to a desired level, in order to fulfil the process water quality requirements set for that specific process unit. This approach results in complex concepts that require a lot of knowledge for control of the system.

There are basic differences between the furnish, technologies and requirements of finished paper depending on whether graphic grades ("white grades") or packaging papers ("brown grades") are involved. In principle, the configuration of systems for packing papers is always simpler than for white grades. For brown grades manufactured from recycled fibres it is possible to control completely closed circuits by integrating a biological treatment stage (see Section 5.3.4). There are even paper mills that manufacture brown grades operating with closed water systems (zero emissions to water) without internal treatment.
With "white" graphic papers, the wastewater load can be minimised by internal treatment of process water by use of membrane filtration, ozonation plus biofilter or alternatively by evaporation technology, so-called "kidney" treatment. However, the suitability of such technologies in continuous operation needs to be carefully tested before they are put into industrial production. These techniques can also be applied as advanced external treatment following common biological treatment (refer to Section 5.5.1 and Section 5.5.2).

Status of development: Advanced treatment of partial flows of process water ask for treatment and water management methods that are not yet spread in paper mills. However, a lot of development works for treatment of process waters has been carried out in most European countries. A lot of smaller testing plants and a few full-scale applications are already in operation. However, especially for "white grades" there are still open questions concerning the chemistry of closed water circulation and the separation of individual compounds in separation processes. Further experimental research, modelling, new water quality measurements and control methods are required.
The optimum plant configuration has always be determined carefully on a case-by case basis taking all relevant aspects into considerations (such as product properties, costs, market demands, costs for water supply and treatment, the requirements by the legislation, site specific considerations etc.).

Environmental implications: The recycling of treated water reduces the consumption of fresh water and also the volume of effluents. By selecting the most appropriate partial process water flow for the internal treatment it is possible to reduce the total discharge to water. However, the impact of closed water circulation on the energy and material balance of the whole mill should always be carefully assessed. In some cases the internal water treatment concept ("kidney strategy") can lead to better efficiencies for the whole mill (e.g. energy savings, reduced consumption of chemicals). In other cases it might only lead to reduced emissions to water.

Economical considerations: No specific data available. Expanding of the external effluent treatment system with a tertiary stage is often not considered economical at high water consumption levels. Internal water treatment has the advantage that water can be treated where it is used. Furthermore, different waters can be treated separately only to an extent that is actually needed. On the other hand, these measures demand a change in process management and require relatively large investments.

Literatur/Quellenangaben: [Borschke, 1997], [Proceedings, 1997 a]

5.5.5 The Continuous Batch Fibre Recovery System to processing recovered paper in a complete system

Description: This technology, the Continuous Batch Fibre Recovery System (the so-called "Tunnelwasher") has the potential to improve the competitiveness of smaller mills and paper

machines because it can economically process recovered paper materials in quantities as low as 3 t/d. The primary aim is to provide mini recycling mills close to the source of recovered paper. The equipment is not intended to be the basis for a large RCF mill. The CBFRS combines a pulper, a washer and a coarse screen in one machine. It is based on ideas developed in the industrial laundry business.
The system consists of cells within units that can be extended and added to depending on the end product required. Ideally two four cells units would be joined together giving a capacity of 7 - 8 tonnes per day of RCF. Recovered paper is loaded into the first cell. The cells are divided within a rotating drum with a defined sequence. The first load is transported to the next cell while the first cell receives a new load. This continuous until the accepted fibres, in the form of pulp, are discharged through an extraction plate at the bottom of the final four cells.

Status of development: There is one installation at a paper mill in North America, the IPMC Paper Mill in Detroit, Michigan. The mill produces 175 tonnes per day of speciality grades of paper and has installed a 25 t/d line to process recovered paper generated within Michigan. A second system for production of 20 - 25 t/d recycled fibres from drink boxes was installed in Mexico. Other applications are planned to start in the near future.

Environmental implications: The benefit of the CBFR system is that it combines the effects of several traditional components that are commonly used in recovered paper processing. Thus, it eliminates the need of several process equipment (as e.g. deflaker, washing, flotation, dispersion, kneader) resulting in saving of energy and investments.
As in conventional systems process water is counter-flowing in the system. The benefit is that it reduces the volume of process water requiring. The wastewater can be treated by dissolved air flotation giving water that is clean enough to be reused. Process water consumption of less than 4.5 m^3/t is expected.
The system processes also more difficult materials (such as milk cartons, drink boxes, wax-coated corrugated etc.) that contain high quality fibre but are typically not sorted because they are generated in small volumes and are not regarded as economically to recycle. The operator can take a more local or regional approach to locating recovered material.
The system can also be applied to treat fibre containing rejects of conventional systems on line. The recovery of fibres leads to a higher yield in recovered paper processing thus reducing the rejects to be landfilled.

Economical considerations: No specific data available. The supplier states that the system can economically process recovered paper materials in quantities as low as 3 t/d because of comparably lower costs for investments.

Literatur/Quellenangaben:.
[Regenex, 1996], [Braeuer, 1998]

6 PAPERMAKING AND RELATED PROCESSES

This section describes paper and board production of the major grades being manufactured in European paper mills.

During the production of different paper grades either virgin fibres (chemical or mechanical pulps) or recycled fibres are used as main raw materials. In Europe, there are also a big number of mills manufacturing papers with a mixture of fibrous materials. Today, the composition of the raw material used for paper is influenced more than ever before by the cost of the individual components. The composition of raw materials used for paper manufacturing (e.g. fibrous material, mineral fillers, coating) has a major effect on the total production costs, the product quality and the environmental impact of the process. The manufacturing of fibres used for papermaking has been described in the previous Chapters 2 to 5. In the following, paper and board manufacturing is described independent from pulp manufacturing. This approach is considered to be reasonable because the same unit processes around the paper and board machine are required in every paper mill. The description of papermaking as part of integrated pulp mills would increase the complexity of the technical description. Finally, in numbers, most paper mills in Europe are non-integrated mills.

Although there is a big variety of paper products and different process lay outs in paper mills almost all types of paper and board-making processes have the following basic units:

- Stock preparation
- Approach flow system
- A paper and board machine consisting of
  - Head box — introduces the suspension of fibres to the wire and creates a uniform dispersion of fibres across the total width of the wire belt
  - A wire section — drains paper web to around 12 - 20% solids
  - A press section — removes more water out of the web by pressing down to about 50% moisture content
  - A drying section — removes rest of moisture by heating the web with drying cylinders
  - A reeler — reels the paper web into a roll
- Depending on the paper and board grade there are additional process units (optional) like calenders, coaters, a coating colour kitchen, winders, rewinders and a roll wrapping station.

In the following the basic units of paper manufacturing are described. The main papermaking additives and chemicals are included in these descriptions. Their environmental properties are discussed more in details separately in Annex I. Because papermaking is a sector that requires large amounts of water a paragraph about water circuits is included. Coating and important finishing processes are also covered.

6.1 Applied Processes and Techniques

6.1.1 Stock Preparation

Stock preparation is conducted to convert raw stock into finished stock (furnish) for the paper machine. The pulp is prepared for the paper machine including the blending of different pulps, dilution and the addition of chemicals. The raw stocks used are the various types of chemical pulp, mechanical pulp, and recovered paper and their mixtures. The quality of the finished stock essentially determines the properties of the paper produced. Raw stock is available in the form of bales, loose material, or, in case of integrated mills, as suspensions. Stock preparation consists of several process steps that are adapted to one another as fibre disintegration, cleaning, fibre modification and storage and mixing. These systems differ considerably depending on the raw stock used and on the quality of furnish required. For instance, in the case of pulp being pumped directly from the pulp mill, the slushing and deflaking stages are omitted.

Stock preparation is based on the removal of impurities, the conditioning of the strength properties of the fibres (refining) and the addition of chemicals to aid the process and affect the final quality of the paper sheet (resins, wet strength agents, colours, fillers). In non-integrated mills the fibres are received dry. They are suspended in a pulper to create a suspension that can be pumped. Then, undissolved impurities are removed from the slurry by screening (screens) and cleaning (centrifugal cleaners). The objective of screening is the removal of interfering substances from the fibres. The fibre suspension is passed through a screen with apertures in the form of slots or round holes, and the impurities to be separated are rejected by the screen. Cleaning is the separation of impurities from the fibre suspension in a centrifugal field. Cleaning is carried out in centrifugal cleaners. A distinction is made between heavy-particle and light-particle cleaners, depending on the purpose of separation. Most cleaners are multistage systems (up to 5 stages).

To improve the bonding ability of the individual fibres of the finished paper refining may be carried out (optional).
The refining has the purpose of conditioning the fibres to create the required properties of the finished product. Refining is carried out in refiners equipped with e.g. a rotating disk that is pressed on a stator. The electrical energy used in refining as part of the papermaking process is usually in the range between 100 and 500 kWh/t for most papers but can be up to 3000 kWh/t for speciality papers. Thus for a non-integrated paper mill using chemical pulp, refining will represent the largest use of electrical energy (drying being the large use of heat). Practically all of the energy input to this refining will be turned into heat and there is no option here for energy recovery although this heat generated contributes to the elevated temperature sought in the process.

Complete stock preparation for a paper machine usually consists of several lines, in each of which different raw stocks are prepared. The processing of broke from the paper machine is also part of this process (see Section 6.1.4). Finally, the pulp is pumped to the storage chests or mixing chests. These chests serve as a buffer between the stock preparation and the actual paper machine, to promote process continuity. In the mixing chests, prepared stocks are mixed in proportions appropriate for producing a particular grade of paper, the required additives are added and the correct fibre consistency is adjusted.

6.1.2 Paper Machine

In the paper machine the paper is formed and most of the properties of the paper are determined. The paper machine is actually a large de-watering device consisting of a head box, a wire section, press section and dryer section. The most common machine design still to recent times is the Fourdrinier process in which the sheet is formed onto a continuous wire or fabric onto

which the suspension of fibres is introduced from the headbox. Recently twin wire formers have been used for web formation and they have become the state-of-the-art design. In twin wire formers, the fibre suspension is led between two wires operating at the same speed, and is drained through one or both sides. There are different types of twin wire formers (e.g. gap formers. In gap formers the diluted stock is injected directly into the gap between the two wires) and combinations of Foudrinier and twin wires (hybrid formers).
Figure 6.1 shows the key features of a paper machine.

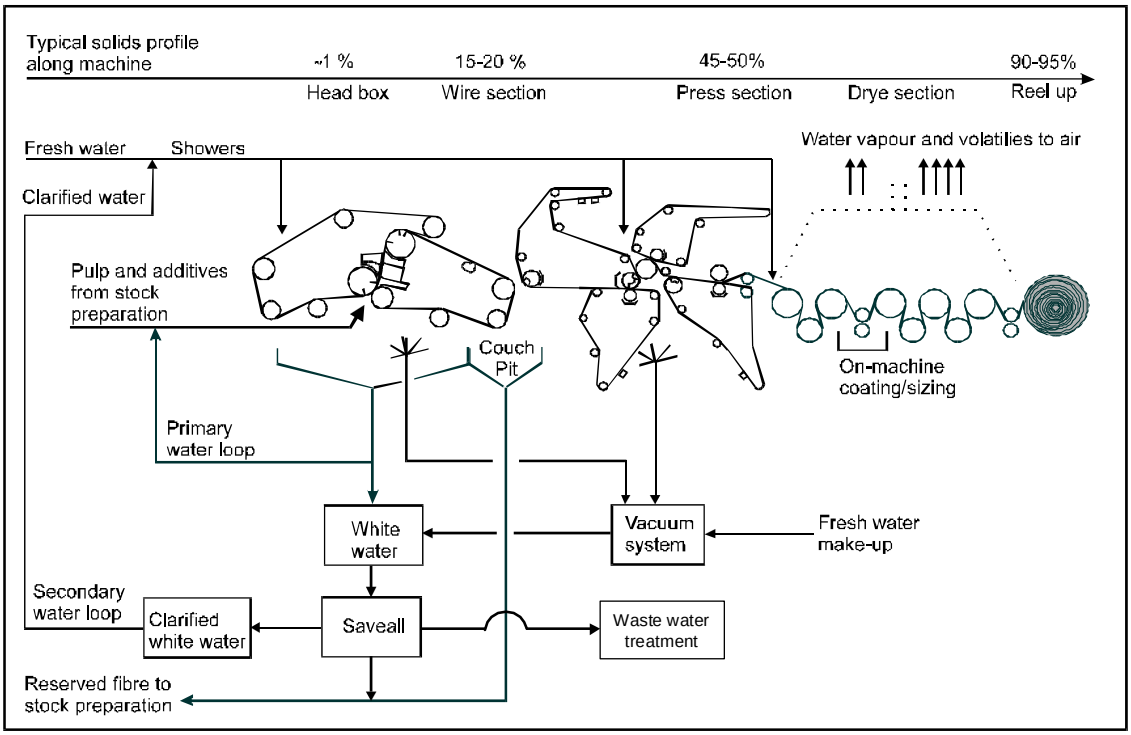


Figure 6.1: Key features of a twin wire paper machine

Paper is made by introducing a dilute suspension of fibres, and possibly fillers, dyes and other chemicals, on a fine mesh through which the water drains, leaving the web of fibres and fines and fillers settling on the mesh. The fibre slurry, which at the wet end of the paper machine is typically between 0.2 and 1.5%consistency, is conveyed to the wire section via the head box. The task of the head box is to create a uniform dispersion of fibres across the total width of the wire belt, in order to achieve uniform paper formation. By the time the paper web has drained to around 10 - 20% solids on the wire the web is self-supporting and can be led away from the mesh onto subsequent pressing and drying stages. The water drains through the wire aided by so-called dewatering elements. Examples of those are rolls, foils and vacuum boxes below the wire, so that after typically 10 m the web of paper is formed. In a twin wire former dewatering pressure is formed as well by the fabric tension over a curved surface of blades or a roll. Machine speeds vary considerably with the web on the fastest machines, typically newsprint, travelling at 1500 m/min with a web width of 10 m. Tissue machines, although generally of narrower deckle, now run at speeds in excess of 2000 m/min. Some machines incorporate a number of wires for making multi-ply papers or boards.

The paper web passes into a press section supported on felts between rollers and through vacuum sections to remove more water (normally down to 60-55%, in some cases down to about 50% moisture content) and then through the drying section. The drying is normally done using steam heated cylinders enclosed in a hood In the dryer section the web is dried to the final dry content of 90 - 95%. Practically all the heat used for drying ends up in the hood exhaust air. The temperature of the exhaust air is normally 80 - 85 ^{o}C and humidity 140 - 160g_{H2O}/$kg_{dry\ air}$. A

part of the moisture (about 1 - 1.5 m^3/t of paper) is driven off to the atmosphere. For economic reasons, all paper mills have installed heat recovery systems. Figure 6.2 shows a schematic picture of the drying and heat recovery section of a paper machine.

In the first heat exchanger of the heat recovery system heat is recovered to incoming supply air. The next heat exchanger is for the heating of incoming fresh water. In some cases heat is also recovered to wire pit water to compensate for the heat losses in the wet end. The last heat exchanger is for circulation water. The circulation water is used to heat the incoming ventilation air. The supply air and shower water are heated to their final temperatures (90 - 95 ^oC and 45 - 60 C respectively) using steam.

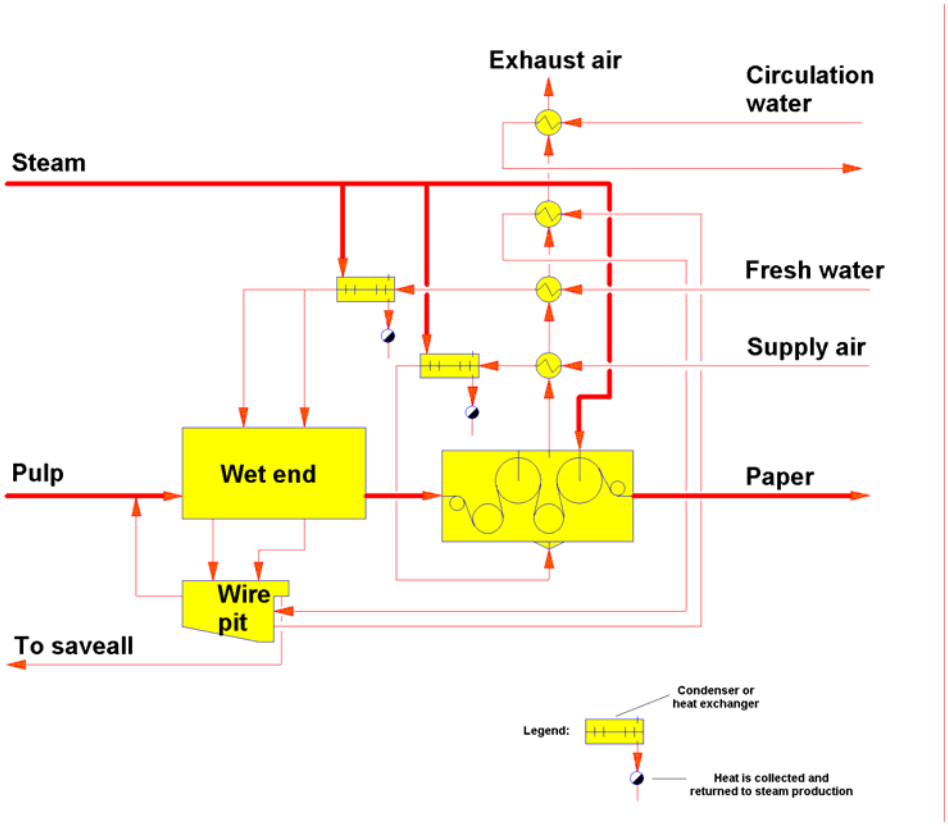


Figure 6.2: Paper machine heat recovery system

Table 6.1 shows an example of heat flows in a typical large and modern paper machine. The production capacity of the machine is 240120 t/a (667 t/d). The dry content of web entering dryer section is 44.5% and that of product 91%. The temperature of exhaust air is 82 ^oC and humidity 160 $g_{H2O}/kg_{dry\ air}$. The values are for Scandinavian winter conditions. In warm climate the share of circulation water decreases or disappears and the exhaust to atmosphere correspondingly increases.

Locations for heat recovery	Destination of heat flow from the drying section [MW] and [MJ/t]	Distribution of heat [%]
Supply air	1.8 MW or 233 MJ/t	6
Wire pit water	3.6 MW or 466 MJ/t	11
Fresh water	5.5 MW or 712 MJ/t	19
Circulation water	8.0 MW or 1036 MJ/t	27
Exhaust to atmosphere	10.8 MW or 1399 MJ/t	37
Total (Exhaust air from hood)	29.7 MW or 3847 MJ/t	100

Table 6.1: Example for heat recovery and heat losses of a paper machine with a production of 667 t/d [data from Valmet]
Values are referring to Scandinavian winter conditions. In countries with warmer climate there is no need for heating of circulation water that is used for machine room heating

One variation for the production of light-weight machine-glazed paper or conventional tissue is the usage of a large heated "Yankee" cylinder on the machine. The drying of the paper web is carried out during the rotation of the cylinder.

In a simple machine the paper may then be reeled and sent for cutting and finishing. In other cases a variety of different stages are incorporated within the machine. A size press is a section of the machine where starches and other chemicals are applied to the surface of the paper by dipping or spraying, with residual water being removed in a short after drying-section.

In most applications the edges of the web are continually trimmed with cutting water jets, into the couch pit, as it leaves the wire. Whenever the web breaks that can happen a number of times per day, there is a considerable loss of paper. Similar losses occur on routine start-ups. All of this paper, termed "broke", is re-pulped and returned to the stock chests in the stock preparation area. Losses of dry paper may be re-pulped immediately or stored and re-introduced to the system at a later date. Coloured or coated broke is recycled if possible but sometimes needs to be bleached or chemically treated first (see Section 6.1.4).

There is a continuous need to prevent the build up of solids on any of the fast moving wires, felts or rollers as these would quickly lead to web breaks. The showers or sprays for this purpose are the primary consumers of fresh water and/or cleaned water in the system. Vacuum systems can also consume substantial amounts of fresh water.

Retention of both solids (fibre, fines and fillers) and solubles (added chemicals, organics from the pulp etc) into the paper web, rather than passing through the mesh and remaining in the water circuit, is an important concept. It clearly affects the likely destination of any substance - either to the product or to effluent. On-line consistency monitoring is often used to stabilise retention. The wire retention of solids can be raised by the addition of retention aids (chemical improving retention), and it is a normal practice on most paper grades. However, this is constrained on some grades by product quality.

6.1.3 Water circuits and fibre recovery

There are three process water circuits in a paper mill: the primary circuit, the secondary circuit, and the tertiary circuit. A scheme of the water circuits in a paper mill is shown in Figure 6.3.

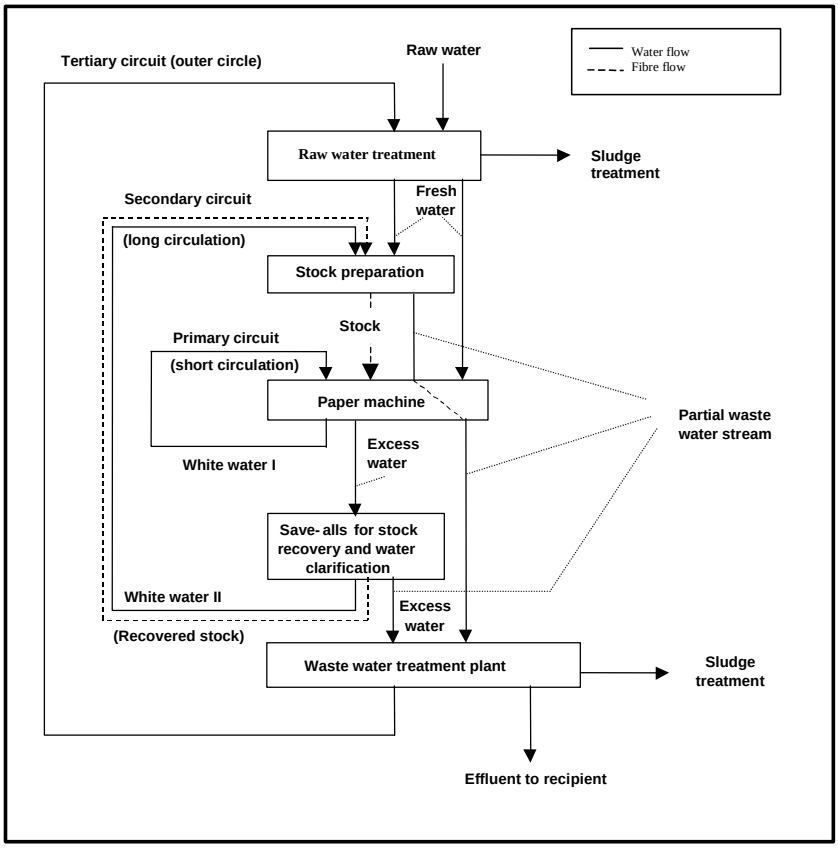


Figure 6.3: Simplified scheme of water and stock streams in a paper mill

In the primary circuit (short circulation), the fibre, fines and filler-rich water obtained in the sheet-forming zone of the wire section (white water I) is recycled for stock dilution in the stock approach flow system. The primary circuit is maintained as closed as possible.

Excess water from the sheet-forming section, suction and press water, as well as cleaning water is called white water II and is circulated in the secondary circuit (long circulation). The white water draining from the wire is typically treated through a so-called save-all, which may be a sedimentation or flotation plant or a filtration unit as a drum or disc filter. This water is then called clarified water.

A precoat disc filter conditioned with raw pulp produces stocks with highest consistency (10-30%) and is designed to achieve a three (or four) way separation of the white water into fibre, a first draw of cloudy water and subsequent draws of clear and super-clear filtrate. The cloudy filtrate is usually recycled back to the filter as dilution water, but can also replace fresh water in the process or be used for the dilution of the stock. A higher recycling rate of cloudy filtrate back to the disc filter results in a cleaner filtrate. The concentration of suspended solids in the clear filtrate (fines and fillers) is usually about 10-150 mg/l for virgin pulp or 100-400 mg/l with recycled pulp.

Flotation systems are also used as save-all. At optimum conditions, the efficiency of flotation systems for solids removal is often almost 100% resulting in concentration of suspended solids of 10-50 mg/l (for virgin pulp). The consistency of the floated sludge is between 3 and 10%. Flotation plants consist of a clarifying basin with sludge removal, aeration equipment for a partial stream of clarified water, and a dosing plant for the flotation chemicals. The advantage of flotation is that small-size colloidal material also can be removed (if suitabbly flocculated prior to flotation). This is a great advantage in recovered paper plants (see Section 5.3.8 with de-

inking, where a large part of the solid material in the process water is colloidal (in a de-inking plant the floated sludge is pumped to sludge de-watering instead of being recycled to the process).

Sedimentation installations are suitable for the clarification of filler-loaded process water but necessitates large volumes and therefore a large space requirement.

The fibre stream that is recovered in save-alls is returned to the stock chest and the different quality waters are returned to different use relevant to their quality where it replaces fresh water.

The tertiary circuit contains excess water from the secondary circuit and, in addition all other process water which is not, or is not directly reusable because of its degree of contamination. It is treated in chemo-mechanical and/or biological wastewater treatment plants. Up to now re-use of purified water is not fully applicable for all paper grades. In some cases purified water is partially returned to the process depending on product quality and local conditions. Closed water circuits are only realised in a few paper mills producing corrugating medium based on recovered paper processing (see Section 5.3.4) or board.

From this description, it can be seen that a very large quantity of water is involved at the wet end of a paper machine and there is usually a high degree of water recirculation in different water loops. About 1 - 1.5 m^3/t of paper is usually evaporated in the dryer section of a machine and lost from the process. "Dry" paper product in equilibrium with a normal atmosphere is around 6 to 10% water.

6.1.4 Broke system

The term “broke” refers to any formed paper from the beginning of the papermaking process to the finished product that is never shipped to the customer. Broke will exist in many forms and varying quantities and it will always be generated by the papermaking process.

The main goal of a broke system is to return the paper fibre back to the process with no disruption to the uniformity and quality of the stock flowing to the paper machine. Every paper machine is different. There are no two paper machines that are exactly the same even the machines producing the same paper grades. It follows therefore, that no two broke systems are alike (in chemical point of view).

The amount of broke produced during papermaking is normally 5 - 20 % of the machine capacity. Sometimes it can reach even amounts of 50 % of normal production.

Depending on the particular case, machine broke will be generated at the different locations. Broke is produced during web breaks. Wet broke is generated even during normal operation in the form of edge trimming at the wire section, and dry broke is produced in finishing operations. The broke pulps originating from the wet and dry ends of the paper machine are not identical in terms of their papermaking characteristics.

On coated paper machines the broke system needs different storage towers for wet (uncoated) and for dry (coated) broke (see Figure 6.4). The figure shows a possible lay out of a broke system of a paper mill manufacturing coated paper.

Broke pulp is pumped from the storage towers to the thickeners where excess water is removed. Thicker broke is fed to the broke dosage chest, where the coated and uncoated broke are mixed together. After the broke dosage chest the broke is cleaned in several stages to minimise the waste broke which can not be recirculated to the process. The cleaned broke is discharged to the

main line mixing chest, from where the final papermaking furnish is pumped through additional cleaning to the paper machine.

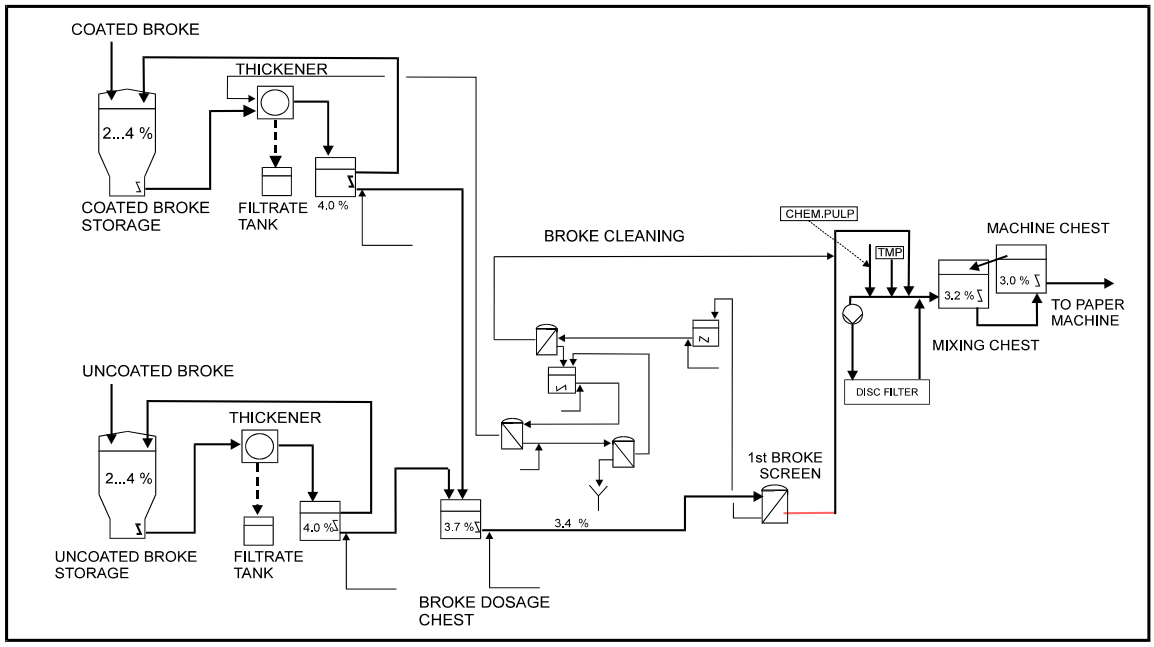


Figure 6.4: Possible lay out of a broke system of a paper mill manufacturing coated paper Uncoated and coated broke are stored in separate tanks

6.1.5 Sizing (optional)

Usually sizing means wet end sizing where starch or synthetic sizing agents are added direct to furnish to reduce the natural suction capacity of the paper. In sizing, starch or other sizing agents are applied to the fibre matrix to increase the strength of the base paper web and to modify the surface properties with respect to liquid uptake during writing, printing or coating. Wet end sizing is applied for instance to fine paper (copy paper) and some special paper grades.

The potential environmental impact of size application is mainly the releases to water. If sizes are added to the paper stock significantly higher concentrations of COD in the water circuits can be measured. Also the re-pulping of sized broke increases somewhat the COD in the water circuits. For instance, the re-pulping of starch-coated broke is one of the main sources of BOD in the writing and fine paper sector.

Sizes may also be applied to the surface of the paper sheet (surface sizing) to avoid dusting (linting) of the paper in offset printing process. Surface sizing increases also surface strength of the paper. In surface sizing, the web is passed through the sizing liquor pond, which is located above a roll nip that presses on the web (size press). As a result the paper web absorbs the sizing liquor. The amount of size taken up depends on the dry content of the web that can reach 98% before the size press.

Size press technology has advanced over recent times with film size press becoming the norm in preference to the older technology that effectively flooded the sheet at a nip between two rolls. Film size presses involve the application of a controlled amount of water based size mixture evenly to the paper sheet by first creating a uniform film thickness on an adjacent roll and then transferring the film onto the paper sheet as if printing the size film onto the paper. The water applied in the size press is evaporated in the after-dryer section. Size presses are mainly used for printing and writing papers and packaging grades made from recycled fibre.

If size is applied by a size press only relatively small amounts of concentrated size have to be discharged when operation conditions are changed.

Although size press treatment is a form of paper coating to improve its surface properties, the term "coating" is usually reserved for the application of a pigmented slurry to the surface of the paper in order to improve its printability or for other specialist applications.

6.1.6 Coating (optional)

Paper, composed of individual fibres has a relatively rough surface. Since this roughness has a negative effect on printing, a large amount of paper and board is coated in order to attain a smooth surface for printing. The term "coating" describes the application of a mixture of water, white pigments, binder, and various additives to one or both sides of the surface of the paper in order to create specific surface qualities. Paper may be coated either on equipment that is an integral part of the paper machine (on-machine) or on separate coating equipment (off-machine). The coated sheet is dried by a short steam-heated cylinder section, by infra-red radiation, by hot air or a combination.

The composition of the coating colour is largely determined by the demands made on the surface of the paper by the particular printing process. Coatings can be complex mixtures of ingredients and usually require preparation before use. The coating colour preparation is carried out in the so-called coating kitchen where the coating chemicals are mixed and adjusted. The finished coating colour is screened before entering the coating machine. Some raw materials may be received wet for easier handling and to avoid any dust problem. All coatings will contain some sort of binder. Starch may be used for added stiffness but will typically be cooked prior to use.. Stearates (Ca and NH_4) are used to provide lubrication during application and surface texture. Pigments will be used such as fine clay, talc, or calcium carbonate, as will colours, brighteners and other low volume speciality chemicals.

Coating machines consist of an unwinder, a coating station or stations (coating application unit), a drying section (infrared, hot-air and heated cylinders are used) and a reel. For optimal operation various control measurements are installed.

Nearly all coatings are water based applied with roller, air knife, size press, blade and bar coating systems all with the objective of laying down a consistent thickness of coating material to the paper sheet. Air knives work at about 30 - 50% solids, others about 50 - 70 %. The coating slurry is generally recirculated through the system with constant filtering to remove fibres and other contamination in order to maintain the slurry quality. These filters will be cleaned at regular intervals thus generating a concentrated waste stream.

There are different grades of coated paper and boards to be distinguished. However, the classification of coated grades has not yet been standardised. Certain terms for describing the major types of coated paper and board are used throughout Europe. They are shortly described below.

Art Paper. The term refers to wood-free or slightly wood-containing paper that is coated on both sides. The weight of the coating exceeds 20 g/m^2 per side, resulting in the complete disappearance of the fibre structure of the raw paper. Up to three coats are applied to each side to obtain the high quality required. This paper is used for high quality printed products.

Machine-Coated Papers. This grade includes both wood-free and wood-containing papers with a coat weight up to 18 g/m^2 per side. Higher weights are often obtained by applying a double coat. The coating formulations are normally simpler than those for art paper. Machine-coated papers are used mainly for printing purposes.

Lightweight Coated (LWC) Papers. These papers are highly wood-containing and generally have coat weights in the range 5-12 g/m^2 per side. They are mass papers and are used for the production of catalogues, magazines, advertising pamphlets etc. The weight ranges has been extended below (ULWC = Ultra-LWC) and also above (MWC = medium weight coated and HWC = high-weight coated) these limits. Today the heavy grades are often provided with a double coat and are, consequently, grouped with machine-coated grades.

Folding Boxboard and Chromoboard. In these grades of board, the white topliner is coated on the board machine. The remaining layers of board can consist of bleached or unbleached pulp or of recovered paper. The coating weight is in the range 12-33 g/m^2 and the coat is normally comprised of a precoat and a topcoat. More recently, three coating layers have also been applied. The board is rarely coated on the reverse.

Depending on the operation of the coating kitchen, coating application and the measures in place for recovery or separate treatment of coating-colour containing effluents relevant releases to water can occur (see 6.3.5 and 6.3.6). In some applications somewhat increased concentrations of volatile organic compounds (VOCs) can be measured in the exhaust gases of the drying hood.

Potential releases to water can be caused by either spill of concentrated coating components (≅ 50% consistency) from coating kitchen or coater station or diluted coating components from washing water of tanks and piping. The concentrated discharges can be collected in tanks or mobile containers for solid waste treatment. The diluted streams are collected in tanks, from which they are led to the effluent treatment. Usually, effluents from coating require a separate pre-treatment in a flocculation plant (see 6.3.6). Otherwise, coating wastewater may cause disturbances in the performance of the biological wastewater treatment plant. In recent years the membrane filtration technology described in Section 6.3.5 has produced good results in coating colour recycling. In applications in Finland, Sweden, France and Germany the recovered coating colour is recycled back to the coating kitchen where it is proportioned to the fresh coating colour. Coated broke is normally re-pulped so that some of the coatings are returned to the water circuit

6.1.7 Dyeing of paper (optional)

Coloured papers are obtained by dyeing the paper stock or the paper surface (size press, paper coating). Optically brightened papers can be produced in the same manner.

Stock dyeing is the most widely used type of paper dyeing. Dyes, pigments, and optical brighteners are added either batchwise in the pulper or mixing chest or introduced continuously into the stock flow. Continuous addition has the advantage of a shorter zone in the stock line that must be cleaned when the colour is changed. However, because of the lower contact time compared to batch addition a lower colour yield is obtained for intensely coloured papers and more complex equipment is required for this dyeing process.

When the surface of the paper is coloured in the size press the dyes are added to the size press liquor. Surface dyeing has gained acceptance only in individual cases because uniform dyeing of the paper is difficult to achieve. However, this process has the advantage of the absence of dyes in the water circuits.

Surfaces of papers can also be coloured by coating. In normal coating (see 6.1.6), the surface of the paper or board is covered with a pigment coating. In the case of coloured coatings, the starting material is the white coating mixture, and the desired shade is attained by adding a dispersion of an organic or inorganic pigment.

Depending on the fibrous material to be dyed and the intended purpose of the paper different types of pigments and dyes are used as basic dyes (cationic dyes), direct dyes, acid dyes. Additionally fixing agents and other additives are used to improve dye fixation and to obtain better dyeing results. As pigments either inorganic pigments or organic pigments (e.g. azo and phthalocyanine types) and carbon black are used for paper dyeing.

The potential environmental impact of colouring is mainly the releases to water. Especially in mills with several changes of tints or shades per day the water circuits have to be cleaned after a certain time. Usually, the paper mills work in campaigns producing first the paler tints changing step by step to the deeper tints. The coloration of the water has then just to be re-adjusted. However, when for instance deep green is reached, the water system has to be washed. The coloured wastewater is sent to the water via wastewater treatment plant. Several times per month the piping is subjected to a chemical attack to eliminate deposits and colour in the piping. In some mills for this chemical treatment elemental chlorine and hypochlorite are used.

6.1.8 Addition of chemicals

Apart from the main raw materials, i.e. fibrous material and fillers papermaking requires the use of various admixtures of chemical additives and auxiliaries. One part serves as a mean to achieve certain paper properties (e.g. sizing agents, wet strength agents, dyestuffs, coating colours); the other part improves operations in the production process (e.g. retention agents, anti-foaming agents, cleaning agents, and slimicides).

Chemical additives may be delivered to site ready for use or prepared on site - typically low volume speciality chemicals will be delivered ready for use whereas the higher volume chemicals may be either. This holds true for coatings as well as those added to the paper stock.
Chemical additives can be added at the wet end with the dilute feedstock or sprayed onto the wire, whereupon it is formed into the body of the paper, or at the size press or coating end of the machine, where it is added to the surface. In the former case all of the chemical which fails to be retained within the paper web will remain in the water circuit probably passing to effluent. The chemicals remaining in the water circuit may hinder the process of closing up the water cycle and may have a negative impact on the waste water treatment plant also. However, it depends on the type and quantity of applied chemicals.

Adding chemicals to the surface by spray or by dipping is potentially more controlled and need only involve water for washing out and cleaning. However, this is only possible for a few applications. In those few cases any wash-water could be segregated for separate treatment. For example, liquid residues from coating can be treated separately in a precipitation step or by use of ultra-filtration (see Section 6.3.5 and Section 6.3.6.

The main papermaking additives and their environmental properties are discussed in more detail separately in Section 6.2.2.3 and in 0.

6.1.9 Calendering (optional)

The objective of calendering is to produce a smooth paper surface that meets the printing and writing requirements for the intended use. In calendering, the web is fed through counteracting press rolls and in this process the surface roughness is influenced by the action of pressure and very often temperature. Machine calender consists of two or more chilled cast-iron rolls with very smooth surfaces that are arranged one on top the other as shown in Figure 6.5.

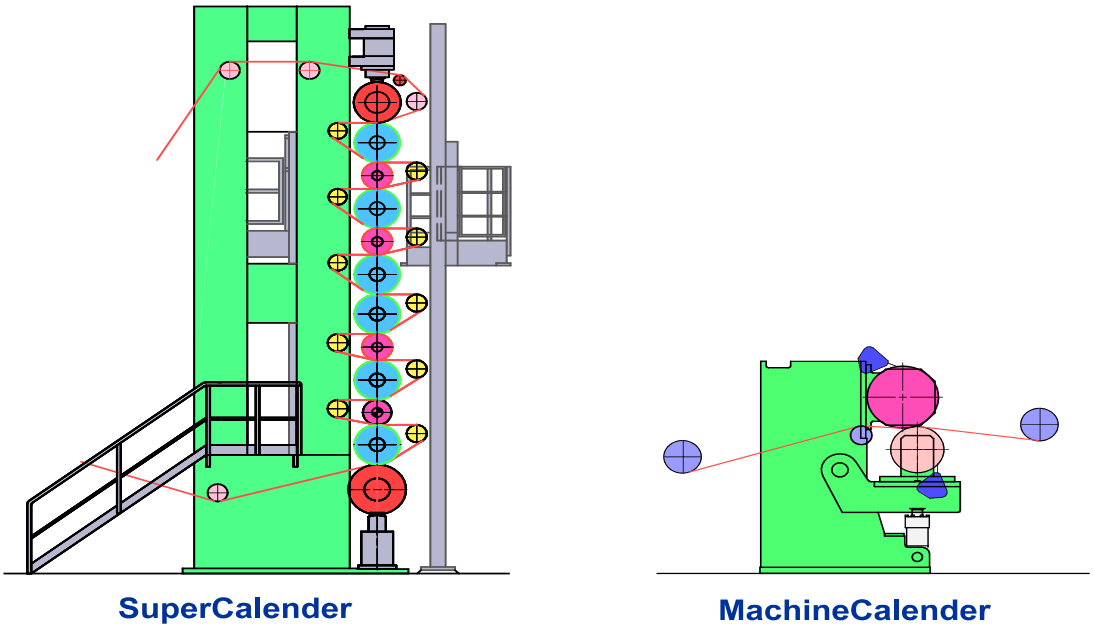


Figure 6.5: Example of two different calenders: supercalender and machine calender [Figure provided by Valmet]

The web is passed through the nips of these rolls (hard nips). Nowadays, calenders have a heated cast-iron roll combined with a roll with a soft plastic cover (soft nip). Two or more of these are arranged one behind the other. The rolls are heated internally with hot water, steam or heating oil.

The paper web that has been made in the paper machine or coater is often subjected to a further finishing treatment called supercalendering (Figure 6.5). A uniform, high surface smoothness is produced in this process, which is carried out independently of the paper machine, usually in supercalenders. This treatment also improves the gloss. Supercalendering increases printability that is necessary in case of picture printing. Before supercalendering, the web is on some grades checked in rewinders for possible defects. Defective parts are eliminated and the ends of the web are spliced together again. The supercalendering system consists of the reel-off stand, the actual supercalender, and the reel-up stand.

The environmental impact of (super)calendering is mainly the energy consumption needed for running the machine and heating the rolls

6.1.10 Reeling / cutting / despatch

The final paper product will be made to customer specifications in terms of roll or sheet sizes, paper weight, colour and finish. Most paper machines will produce large rolls of paper where the width of the paper web has been determined by trimming the sides of the web at the wet end of the machine. It is usual to finish products with sharp rotary knives and guillotines off machine by trimming rolls to exact widths and cutting to sheets before wrapping for dispatch. There may also be a stage of conditioning the paper product to a specified moisture content so it is consistent throughout, dimensionally stable and fit for intended use such as printing or packaging.

The environmental consequences of these operations are relatively small, but there is the potential for dust generation in cutting. Involved processes consume little energy. Waste is generated of trimmed paper, which is normally recycled as broke back to the papermaking process.

6.1.11 Examples of non-integrated paper mills in Europe

Paper and board manufacturing processes can take place at the same site with pulp production (integrated mills) or separately at a site of its own (non-integrated mills).
In 1993 there were operating 830 non-integrated paper mills in Western Europe with a total capacity of about 30 million tonnes/a. This corresponds to an arithmetical average production capacity of about 35000 t/a. There is a high share of non-integrated paper industry in countries like Italy (211), Germany (161 mills), Spain (114 mills), France (107 mills) and United Kingdom (81 mills) [J. Pöyry, 1994 b].

Different paper and board grades are manufactured from different raw materials with machines that are designed for each paper and board grade. However, until now there is no common understanding in Europe which paper grades have to be distinguished from an environmental point of view to describe achievable emissions of paper mills which have implemented BAT. The classification systems of trade statistics (e.g. National statistics, CEPI statistics) are not the same as those used by the Member States for setting legal requirements for the paper industry. The classification of paper mills varies from country to country. As a consequence, there is no existing classification that can just be adopted.

In Europe, the biggest number of non-integrated paper mills is manufacturing fine paper, tissue or speciality papers. However, it has to be born in mind that in some countries these paper grades are also produced in integrated mills. For instance, in the Nordic countries the fine paper mills have in most cases been built adjacent to a pulp mill. Tissue is also either produced in integrated (mainly using recovered fibres) or non-integrated paper mills.

6.1.11.1 Uncoated woodfree printing and writing papers

Printing and writing papers includes products like wood-containing magazine printing papers (see Chapter 4) and wood-free natural printing papers.

Wood-free natural printing papers consist almost exclusively of bleached hardwood and softwood chemical pulp. 10 - 20% fillers may be used. These uncoated papers are usually sized and further upgraded by surface sizing and calendering. Wood-free printing papers do not yellow to any appreciable extent and have a high strength.

During the cleaning and screening of the stock only small quantities of rejects are purged, as the raw materials are largely pure. During refining the fibres are shortened and fibrilled. During fibre fibrillation a small part of the organic material is dissolved.

Other wood-free paper products consisting primarily of chemical pulp include amongst others products as tissue, cellulose wadding, filter paper, decorative paper, base paper for lamination or parchment base paper. They also include those products where size is added to the mass to reduce the natural suction capacity of the fibre web as e.g. poster paper, carbon paper, kraft papers and drawing papers. Sizing increases the organic substances in the water circuits and during re-pulping of the broke most of the additives can be re-dissolved (e.g. converted native starch).

6.1.11.2 Coated woodfree printing and writing paper

Coated printing papers represent the largest group within the printing and writing papers. The largest part of this group - wood-containing, coated printing papers - is described in Chapter 4.

The base paper for wood-free, coated paper consists predominantly of chemical pulp. A layer of coating colour is applied to both sides of the paper web. These papers may be additionally calendered to supply them with a dull or glossy surface. Besides printing paper and art paper the production of chromo-board (the white topliner of board) is also included in this group.

During the stock preparation process only small quantities of rejects are purged, as the raw materials are largely pure. Coated paper is dried two times, in the usual drying section and again after application of the wet coating. Depending on the paper type produced additional additives are added in the mixing chests which can result in wastewater contamination. Coating and finishing consists of both surface sizing and application of coating colour (one or several coats on one or both sides). The preparation of the coating colour and the re-pulping of the broke result in additional wastewater contamination, consisting of undissolved substances as well as dissolved oxygen consuming substances.

6.1.11.3 Tissue paper

Tissue is usually a product where the single layers produced in the paper machine are combined to a multi-layer product after the paper machine in a separate unit. This is because of its low basis weight sheet (down to 12 g/m^2 on the wire). The main product properties are softness and smoothness, cleanliness, high absorption capacity and strength. Converting into finished products is often integrated with the tissue production i.e. tissue mills often sell their products to the end-consumer (including packaging).
Tissue is predominantly made of bleached chemical pulps or de-inked recovered fibres (see Chapter 5). In case of using recovered paper, the fillers and fines (very small fibres unsuitable for tissue manufacturing) have to be removed. A mixture with different shares of virgin and recovered fibres is also frequently used. If recovered fibres are used the mills are integrated or partly integrated respectively. In recovered paper processing mills much water is used to remove fillers and fines from the stock. These substances appear as increased sludge to be handles and dealt with. For the processing of recovered paper with de-inking it is referred to Chapter 5.

For tissue manufacturing different drying technologies for different products are used as e.g. the conventional Yankee dryer or the significantly more energy consuming Through-Air Drying process (TAD) where huge amounts of air have to be heated. TAD dried products tend to be bulkier and softer which result in a significantly lower fibre consumption for a given product compared to ordinary dried creped tissue.

During the stock preparation process there are only small quantities of losses of fibrous material (1 - 2%). Air emission depends mainly on the energy supply and the lay out of the drying process. Tissue mills tend to use somewhat higher volumes of fresh water on showers than other papers because the cleanliness of wires and felts are crucial for the very lightweight sheet formation. Many tissue machines make frequent changes of grade and/or colour for different products reducing somewhat the efficiency of the use of raw materials, water and energy. This phenomenon is more evident for small mills with only one paper machine. Depending on the product properties additives are added which may result in wastewater contamination. As an example, the use of organic halogenated resins for wet strength improvement leads to higher levels of AOX in wastewater.

6.1.11.4 Speciality paper

Paper and boards for technical and speciality uses cover a wide range of grades. Speciality papers often require fibrous materials or specific fibre processing that are otherwise too expensive to be used. For instance, document paper, banknotes and identification papers contain not only synthetic fibres, but also cotton and jute pulp from rags.

This group comprises highly comminuted paper consisting of pure chemical pulp. Specific characteristics, such as transparency and grease impermeability are achieved by intensive refining. Amongst others, the following paper types are manufactured: accounting parchment, electric insulation paper, capacitor tissue paper, uncoated tracing paper, glassine, parchment replacement, cigarette paper etc. Only small quantities of unsuitable materials are lost during the cleaning and screening process stages, as the raw materials are largely pure. During refining the fibres are shortened and strongly fibrilled. During fibre fibrillation a part of the organic material is dissolved. Depending on the paper type chemical additives are added which may partly end up in the wastewater. The specific wastewater flow varies strongly between 40 and 300 m^3/t depending on the product and the specific production conditions. The possibilities for closing up the water circuits are limited by the production technology for this product group (increased heat because of intensive refining) and by the qualitative demands placed on the individual paper types (e.g. electric conductivity, transparency, sensory characteristics).

Special papers for technical, medical, pharmaceutical and other applications are produced in small batches with more than one change of type per day and paper machine as an yearly average. The pulp composition for individual products can vary considerably and includes pre-treated annual plants, bleached and unbleached chemical pulp, chemical and mineral fibres.

The pulp used varies considerably in type and quality. The following paper types are manufactured amongst others: test strip paper, photographic base paper, filter paper for laboratory use, special paper for clinical use, oil filter paper, dust filter paper, impregnating base paper, base paper of vulcanised fibres, electrical laminating paper, sealing paper, calendar rolls paper (e.g. for embossing rolls), carbonless paper, thermal paper, label paper, cast-coated paper, etc. For the production of speciality papers water can only be re-circulated to a limited extent because of the exactly defined quality demands on these special papers. As a result and because of the frequent change of types the specific water consumption may exceed 100 m^3/t. The organic load of the wastewater is low. Depending on the quality criteria to be achieved a change of paper type may result in a more or less complete emptying of stock and water system.

6.2 Present Consumption and Emission Levels of Paper Mills

6.2.1 Overview of input/output

An overview of raw material and energy input and the output of products, residues for further utilisation and major releases (emissions, waste etc.) of the manufacturing of paper is presented in Figure 6.6.

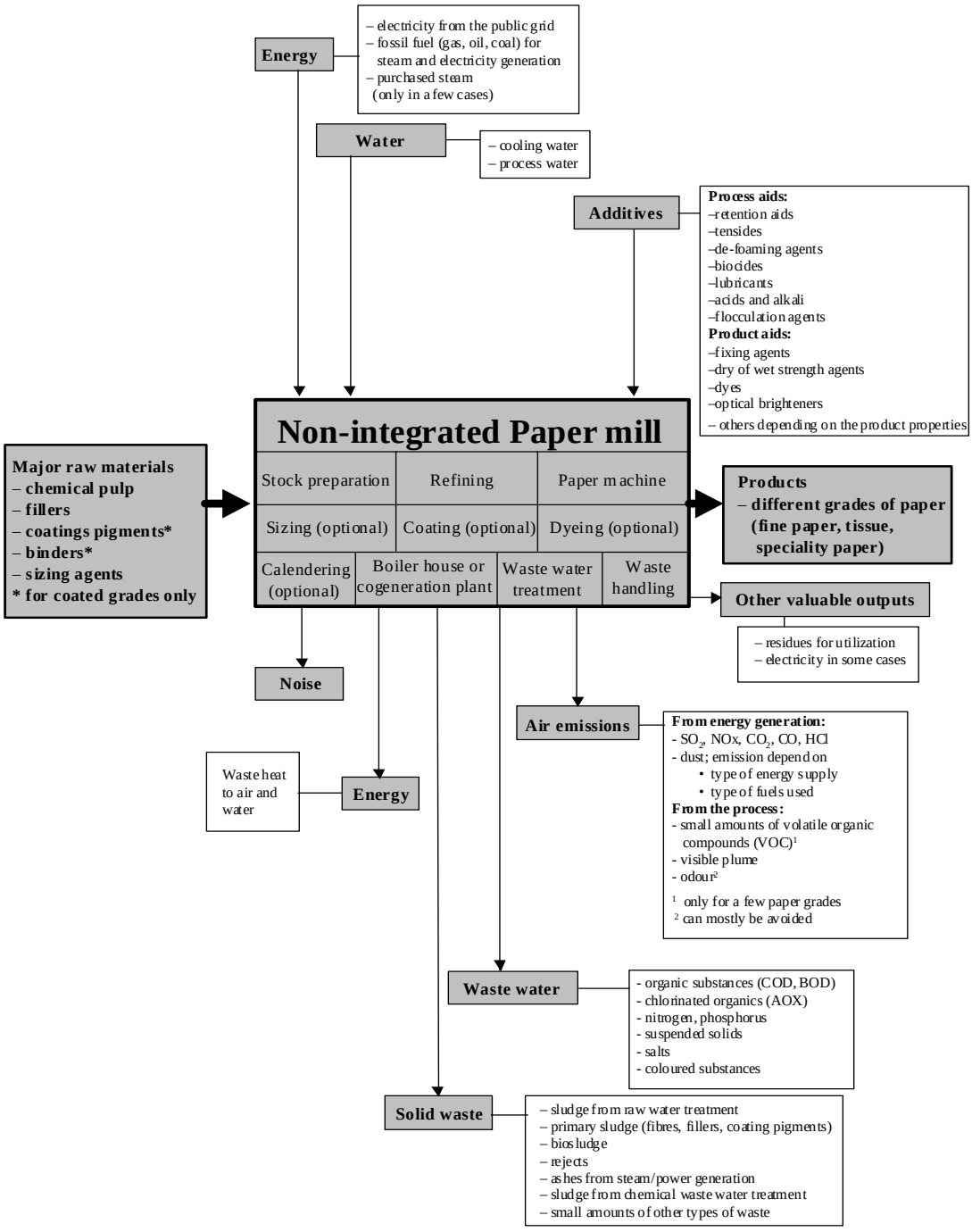


Figure 6.6: Mass stream overview of a paper mill
The presence of some substances depends mainly on the paper grade and properties to be achieved and the type of energy supply

Using the mass stream overview, specific raw material consumption and specific emission per tonne of product can be calculated. Table 6.2 shows data from the biggest fine paper mill in Europe because no other data were available. This example stands for a mill having achieved best performance levels. In Table 6.3 below data for typical tissue mills are given.

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Chemical bleached pulp (5% moisture)	610.03	kg/t	Fine paper (coated & uncoated)	1000	kg
Fillers ($CaCO_3$), 73% DS	209.28	kg/t	**Emissions**		
Coating pigments ($CaCO_3$ and kaolin, 73% DS)	210.18	kg/t	CO_2 [3)]	298	kg/t
Starch, dry	40.33	kg/t	CO_2, regenerative	-	kg/t
Binders, dry	29.34	kg/t	NOx [3)]	0.2	kg/t
Sizing agents, 20% DS	6.36	kg/t	CO [3)]	0.02	kg/t
Other additives and dyes	15.35	kg/t	SO_2 [3)]	negligible	kg/t
Energy			Dust [3)]	negligible	kg/t
Natural gas for steam generation	5217	MJ/t	Noise: at 2 points of measurement [4)]	47.4 (600m) 39.8 (1200m)	dB (A) dB (A)
Gas for fork lift trucks	0.002	MJ/t	COD	0.44 (97)	kg/t (mg/l)
Gas for shrink ovens	15.4	MJ/t	BOD_5	0.11 (24)	kg/t (mg/l)
Purchased electricity [2)]	611.8	kWh/t	Suspended solids	0.14 (30)	kg/t (mg/l)
Total energy consumed	2065	kWh/t	AOX	0.0007 (0.15)	kg/t (mg/l)
Total primary energy [1)]	3136	kWh/t	$N_{inorganic}$	0.041 (9.2)	kg/t (mg/l)
			P_{total}	0.003 (0.8)	kg/t (mg/l)
			Water vapour	1.5	m^3/t
			Wastewater flow	4.5	m^3/t
Water demand			**Residues**		
Raw-/fresh water	6	m^3/t	Sludge (utilised in brick industry)	12.7 (at 100% DS)	kg/t
			Other waste	5.1	kg/t

Notes:
1) The contribution of purchased electricity to the specific primary energy consumption is calculated assuming an energy yield of the electricity generating companies of 36.75%, i.e. purchased electricity of 1 kWh corresponds to primary energy of 2.75 kWh. In this case 611.8 kWh/t corresponds to 1682.45 kWh/t primary energy (e.g. coal). Conversion factor: 1 MJ = 0.2778 kWh and 1 kWh = 3.6 MJ.
2) Consumption of power includes delivery of raw water pumps
3) Air emissions from purchased electricity are not included. Steam is produced on-site in a gas fired steam boiler. Air emissions from non-integrated paper mills depend mainly on the type of fuel used.
4) The distance from the paper mills to a commercial area is about 600 m; the distance to a residential area 1200 m.

Table 6.2: Annual average input/output data from the biggest non-integrated wood-free fine paper mill in Europe (coated and uncoated grades) manufacturing about 1018450 t/a (1997)[12]
The data to emission to water represent the situation after 2-stage biological treatment (high-load trickling filter plus activated sludge)

Table 6.2 refers to a very big paper mill. However, it should be noted that smaller mills often have higher specific energy consumption values and also higher water consumption than bigger mills. Reasons for differences in environmental performance between bigger and smaller paper mills are for instance:

- fresh water needed for continuously trimming the edges of the web is the same for wider and narrower machines. Thus, paper machines with a larger width use relatively less water for that purpose.

[12] Environmental Declaration '98 Nordland Papier AG, UPM, Postfach 11 60, D-26888 Dörpen, Germany.

- Bigger machine produce usually bulk grades. That means, less changes of grades are necessary that cause higher water consumption and increase pollutant load when the system has to be washed
- The economies of scale facilitate investments in clean technology for bigger mills
- Bigger mills have more financial and human resources for research and development

In Table 6.3 consumption and emission levels for tissue mills are compiled. The main difference between virgin and secondary fibre mills is solid waste. While virgin fibre mills generate 10-40 kg waste/t of paper (100% dry solid) amounts of 400 - 1000 kg waste/t of paper result from recycled fibre processing (see Section 5.2.2.6).

Input			Output		
Raw materials	**Value**	**Unit**	**Product**	**Value**	**Unit**
Chemical bleached pulp	1010-1020	kg/t	Tissue	1000	kg
Wet strength resins	0-80	kg/t	**Emissions**		
Starch, dry	0-30	kg/t	CO_2 [4)]	300-1800	kg/t
Colour agents	0-2	kg/t	CO_2, regenerative	-	kg/t
Other additives	0-20	kg/t	NOx [4)]	0.5-5	kg/t
			SO_2 [4)]	0.07-10	kg/t
			Dust [4)]	n/a.	kg/t
Energy				**before after treatment**	
Fuel for steam generation	5000-25000	MJ/t	COD	n/a. 2 -6	kg/t
Total electricity consumed [1)]	1000-3000 [3)]	kWh/t	BOD_5	n/a. 1 - 2	kg/t
Total energy consumed [2)]	2000-10000	kWh/t	Suspended solids	n/a. 1 - 3	kg/t
			AOX	n/a. 5 - 15	g/t
			N_{total}	n/a. 5 - 100	g/t
			P_{total}	n/a. 1 - 30	g/t
			Water vapour	1	m^3/t
			Wastewater flow	6 - 100	m^3/t
Water demand			**Residues**		
Raw-/fresh water	7-100	m^3/t	Solid waste	10 - 40 (at 100% DS)	kg/t

Notes:
1) No allowance is made for efficiency of electricity generating companies.
2) The specific primary energy consumption can be calculated from this figure by taking into account the energy yield of the electricity generating companies. Conversion factor: 1 MJ = 0.2778 kWh and 1 kWh = 3.6 MJ.
3) The upper end of the range refers to tissue mills using through air drying (TAD) or re-creping techniques. To operate TAD enormous volumes of air need to be moved by large fans.
4) The emissions include all fuel types for generation of steam. Emissions do no include purchased energy.

Table 6.3: Consumption and emission levels for typical tissue mills [ETS data]
Emissions to water are given as typical values before and after treatment. Apart from data ranges for solid waste there is no significant difference between consumption and emission levels for virgin and recycled fibres

6.2.2 Consumption and emission levels

The following aspects associated with paper manufacturing are of concern:

- Consumption of raw materials
- Water use
- Use of additives
- Energy demand
- Wastewater emissions

- Solid waste generation wastewater
- Air emissions from paper machines
- Air emission from energy generation
- Odour from vapours and from wastewater treatment plant (local)
- Noise from paper machines (local)

Low frequency vibration and emission of visible plumes can also be a local aspect of concern. No information was provided on this issue and therefore it is not further described here.

As for the reported emission and consumption figures, it should be borne in mind that, due to the use of some different measurement methods in the various Member States, data are not always strictly comparable from country to country. (See Annex III for more information on this issue but the different methods used do not alter the conclusions drawn in this document).

6.2.2.1 Consumption of major raw material

Paper is made from fibres, water and chemical additives. The consumption of raw materials in papermaking depends strongly on the paper grade manufactured and the final product properties and qualities to be achieved. In Table 6.4 examples of raw material used are compiled. Some product characteristics are also given.

Paper grade	Major raw materials used	Some product characteristics and product examples
Newsprint	No added new fillers; few added chemicals; sometimes pigments added; Very little colour; Uses mechanical pulp or RCF	Narrow weight range 40 - 50 g/m^2 a) 100 - 70% RCF based + 0 - 30% TMP b) mainly TMP + 0 - 50% DIP
Kraft Wrapping	No added fillers, coloured; Uses mainly unbleached kraft pulp	High strength product; 70 - 100 g/m^2
Kraftliner or Testliner	No added fillers; Uses unbl. kraft pulp and RCF or RCF only	Heavier weight; 110 - 160 g/m^2 Testliner: 90-100% RCF
Board	Often different compositions in different ply; mostly multi ply sheet; all fibre types including RCF;	Higher basis weights, 175 g/m^2 + (up to 2000 g/m^2);
Writing and Printing	All grades of fibre, mainly bleached; Fillers, sizes, colours, brighteners; may be coated; Wide range of basis weights;	Precise specification for user; specific weight from 30 g/m^2 to 50-60 g/m^2 (LWC) up to 90-120 g/m^2
Tissue	No added fillers; wet strength additives; Uses chemical pulp + RCF in different mixtures	Lightweight product[1] e.g. Handkerchiefs: 15 g/m^2 (for three sheets) Napkins: 20 g/m^2 (for two sheets)
Speciality papers	Specific fibre processing; The pulp used can vary considerably in type and quality	This group covers a wide range of grades;
Notes: 1. The sheet made on a tissue machine rarely exceeds 40 g/m^3. The higher basis weights of tissue products are achieved by plying up in converting.		

Table 6.4: Examples for major raw materials used for manufacturing of different types of paper

6.2.2.2 Water use

In paper mills fresh water is mainly used:

- As cleaning water for the paper machine called shower water. The function of showers is to lubricate and to clean forming fabrics and wet press felts to maintain satisfactory de-watering performance: 5 - 20 m^3/t
- As sealing water and confining in stuffing boxes, suction boxes, vacuum systems and cleaners: 1 - 6 m^3/t
- As a solvent and dispersant for fillers and additives: 1.5 - 3 m^3/t.
- For some paper grades: Make-up water in stock preparation
- Cooling of process equipment: 3 - 10 m^3/t. These waters are often re-circulated and used as process water. Other mills discharge it separately. Therefore, this water is normally not included when water consumption of paper mills is reported
- Power plant: 2 -3 m^3/t. This water is normally not included when water consumption of paper mills is reported.

The simplified scheme in Figure 6.7 shows by use of an example the major positions where fresh water is used. It assumes that cooling water is re-used in the process. Paper mills discharging cooling water would need correspondingly more fresh water. When comparing figures on water consumption in paper mills one has to make sure that the compared figures include the same positions for water consumption.

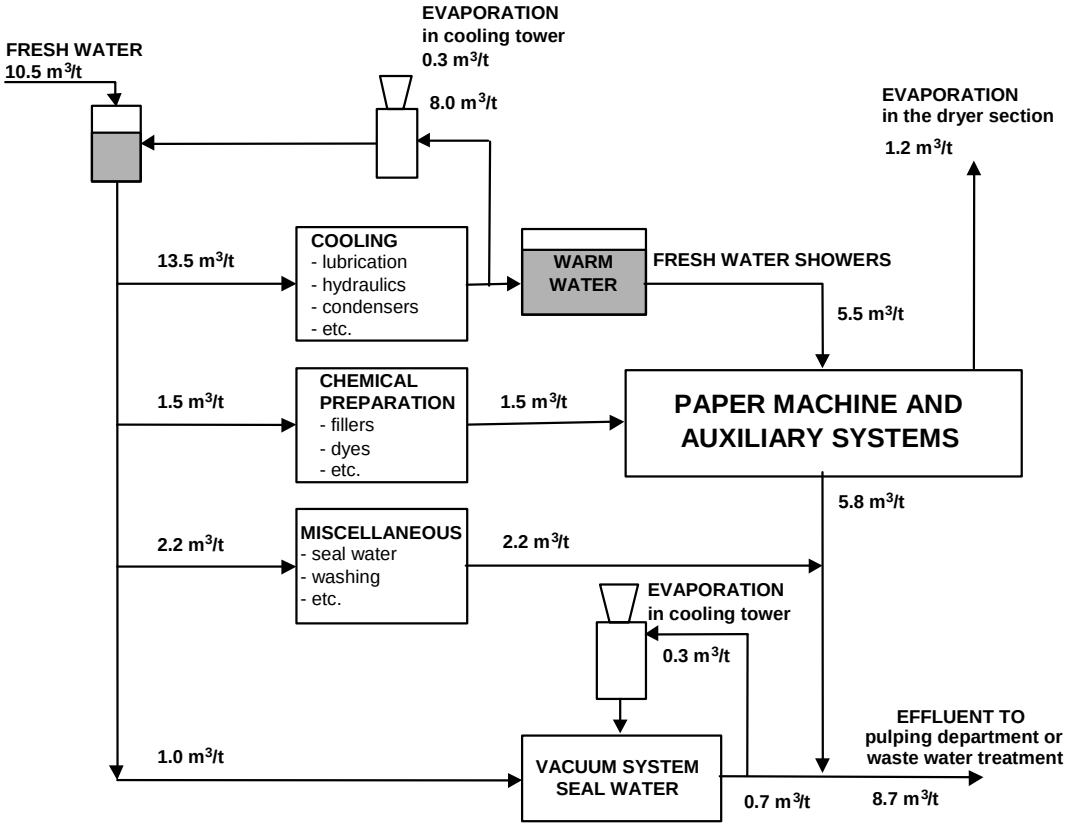


Figure 6.7: Positions of fresh water demand in a paper mill
Example of a paper mill using 10.5 m^3/t fresh water. Cooling water is re-circulated by use of cooling towers. The circulated water from the vacuum pumps are not shown (the flow might be in the range of 6-8m^3/t). The figure shows only the net water flows (input/output) under continuous operation. Unbalances of the water flows during e.g. start-ups where usually a bigger amount of water is used are not taken into account. "Miscellaneous" is a somewhat "grey area" but is not negligible

Fresh water is normally introduced in the papermaking process mainly through paper machine forming section and press section showers after which, it is fed upstream to various washing and diluting processes in the mill.

In the stock preparation units typically there is no demand for fresh water i.e. fresh water is usually not required for dilution of incoming fibre raw material. If different qualities of white water are available, the water with the highest fibre content (cloudy filtrate) could be used in pulping units. However, most of the cloudy filtrate is used in the short circulation for adjusting the consistency of the incoming fibre slurry. The need for fresh water is limited to dilution of chemicals and to sealing water for some of the equipment. Most chemicals must be diluted with fresh water before entering the paper machine system because otherwise quality problems may arise and the dosages have to be increased. For the dilution of fillers it is sometimes possible to replace the fresh water with clarified water if there is no risk of anaerobic biological activity.

As fibre passes through a pulp or paper mill, different consistencies are required at different stages of the process. Each increase in fibre consistency creates an effluent at that point with the amount and type of contamination depending on the particular unit operations upstream. The ability to recycle that water to another point in the process may be constrained by the chemistry at different stages.

The amount of fresh water use in paper production varies depending on the paper grade produced, the nature of raw material used and the final quality level within each paper grade. Typical ranges for water consumption in the manufacture of a number of paper types are given in Table 6.5.

Paper grade	Water discharge [m^3/t]	Remarks
Tissue	10[1] - 50	For RCF based tissue: includes RCF processing
Printing/writing, uncoated	5[1] - 40[2]	may include water used in pulp processing
Printing/writing, coated	5[1] - 50	may include water used in pulp processing
Paper board	0[1] -20	includes water used in pulp processing
Speciality paper	10 - 300[3]	

Notes:
1 the lower end of the range is changed by EIPPCB according to current performance data
2 the higher end of the range is changed by EIPPCB because the given figure of 90 m^3/Adt seems to be unrealistic high
3 the higher end of the range is changed by EIPPCB because the given figure of 400 m^3/Adt seems to be unrealistic high

Table 6.5: Water discharge in European paper mills
[J. Pöyry, 1994 b]. For non-integrated paper mills no data are available

In calculating the specific fresh water consumption, fresh water used as cooling water is not taken into account provided that it had no contact with fibrous materials and additives.

Some additional explanations on specific water consumption for tissue mills

In considering fresh water use there are two main factors to bear in mind with regard to tissue mills. One is the need for high levels of cleanliness of both the product itself (hygienic use) and the tissue machine clothing. The other one is the very low production rates due to the light basis weight products made (down to 12 g/m^2 on the wire compared to 40 - 50 for newsprint, 50 - 100 for writing papers and several hundred for packaging grades).

Although the absolute volume of water used at a tissue mill may not be significantly higher than some other mills, these two factors can combine to make the specific water consumption appear high.

In a tissue mill there are a number of areas where fresh water is required; shower water to keep the felt surface free from contaminants, high pressure shower water for cleaning the wire, and miscellaneous. The latter will vary from machine to machine depending on operator's activity, white water arrangements and storage volume and degree of automation and information available for the operator. Miscellaneous includes uses such as chemical make up, lubrication showers (inside pressure rolls, on Yankee cylinder edges etc.), vacuum pumps etc. Some of these such as chemical make up may be proportional to production rates.
In a mill applying BAT all other uses of water should be suitable for using clarified water rather than fresh.
There are some machines, especially those making heavy weight, low quality grades, where cleanliness of clothing and product is less important, that can achieve lower figures for water consumption down to 10 m^3/tonne or lower. Lightweight, high quality grades that need a very high degree of cleanliness generally have higher specific water consumption.
Where there are grade changes, colour changes, machine shuts, several machines in one mill etc., figures on specific water consumption will be increased. These influences are site specific but could increase water consumption by 25% or more. Generally, in mills that manufacture less variety of products, less colours, less wet or dry strength agents, on large machines, the water consumption will be lower and the other way round.

To summarise: Even on the same machine a change of basis weight and speed of the paper machine can have a significant effect on the specific water consumption. Tissue machines generally run much greater ranges of basis weight and speed than most other paper machines. The same machine can make a basis weight range that varies by a factor of 4, e.g. from 12 g/m^2 to 48 g/m^2, and could run at speeds from 500m/min to 1200 m/min. Throughout this range the specific water consumption may vary significantly.

It can be stated that there are no fundamental differences in the water reduction measures in use at tissue mills and other paper mills. However, because of the large variations possible on a tissue machine, the main difference is in the degree to which tissue mills can reduce their specific water consumption.

6.2.2.3 Use of additives

Introduction
Depending on the type of paper produced a very large number of chemical additives might be used in papermaking. However, for the production of the bulk paper grades as packaging papers, some printing and writing papers, newsprint, and hygienic papers the use of chemicals is limited to about 10 to 20 different groups of additives. On the other hand, for production of some fine papers and especially of speciality papers a much higher number of chemicals may be used because of the variety of product properties to be achieved. In all, around 1300 products involving around 800 substances are used [Swedish EPA, 1997]. Besides the intended positive effects on production efficiency and product quality some additives may have potential harmful environmental consequences.

Virgin fibrous materials add up together 45.8% of the total raw material consumption in the European paper industry. Recovered fibres make up 38.8%. Then come 14.9% non fibrous materials [CEPI statistics 97] out of which about 11% are fillers and pigments, mainly in form of kaolin and calcium carbonate. The remaining 3% include the chemical additives. A large share of this is starch, which is derived from renewable raw materials. The traditional chemical papermakers' alum, i.e. aluminium sulphate, makes also a large contribution to the group of chemical additives. As an average about 1 % of the raw materials used for paper production are synthetic chemical additives [EUCEPA, 1997]. The total amount of chemical additives used for paper production reaches 8.1 million tonnes worldwide. 2.8 million tonnes of synthetic chemicals are used (related to dry substance) This amount of chemicals justifies a closer look to better understand any environmental potential impact this may have. The general target is to

find the right balance between water and chemicals consumption, paper quality and protection of the environment.

This great variety of chemicals is faced with a limited number of groups of synthetic chemical additives. There are no statistic data available on the quantities of specific types of additives in the European paper production. But, it can be assumed that the amounts are similar to those reported on a global reckoning. Referring to the Figure 6.8 about 50% of the synthetic chemical additives consist of coating binders, 25% of sizing agents and 8% of wet strength agents.

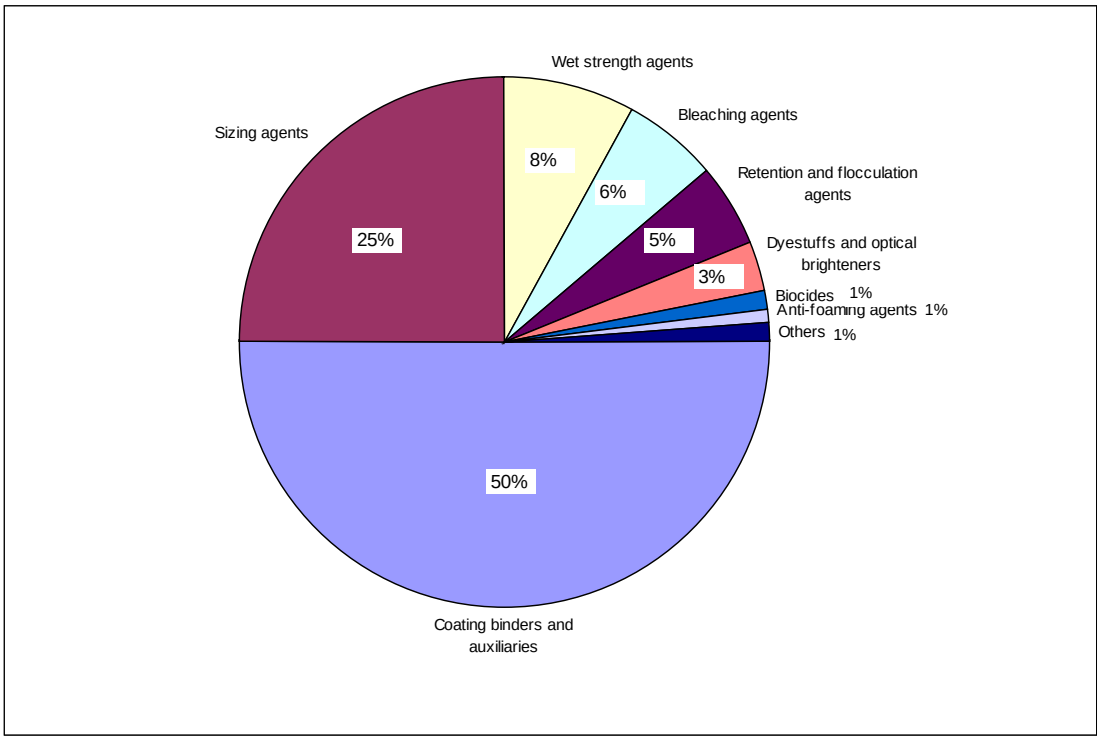


Figure 6.8: Share of different synthetic chemical additives related to the global consumption [EUCEPA, 1997]. It can be assumed that the relative amounts of additives are similar to those used in Europe. Sizing agents include dry strength agents (e.g. cationic starch) used for wet end sizing

Figure 6.8 shows that 5 groups of substances are representing about 95% of the total mount of synthetic additives used.

General issues related to chemical additives

Chemical additives are usually formulations of different chemical substances rather than uniform compounds - they only develop the desired capabilities when mixed. Besides, they can contain by-products originating from product manufacture (e.g. monomers, rests of by-products).

Safety data sheets and goods information sheets of the chemical additives often do not contain information on the actual quantities of dispersants, solvents and auxiliary agents but quote sometimes only the category of the active substance. Furthermore, environmental hazard assessments are often difficult because the names of the ingredients are given as cryptic, non-chemical designations, e.g. tensides or emulsifiers. To prevent risks to environment it is important that all users of chemicals find out what is meant by designations such as "emulsifier" or "tenside". Currently, the operator and the inspector as well often do not know the exact composition of the additives used and this is true in particular of the information on potential

environmental impacts of the formulations. Hazard assessment should therefore preferably involve the chemical additive supplier and an agreed risk management procedure.

There is a need to improve the availability of environmental data on chemical additives and the knowledge of suitable alternatives to better understand environmental fate and effects during use and after discharge.

In some Member States (e.g. Netherlands, Sweden, Germany) extensive survey projects have been carried out aiming at identifying and minimising the possible health and environmental risks, associated with the use of various chemical additives. Some of the projects are still running. It shall be pointed out that the potential problems associated with chemical usage in the paper industry have not been finally "solved" through these projects. An extensive knowledge of the risks of various types of chemicals has been gained, but there is still much work to be done before the environmental effects of each chemical is known.

After use the individual components of added chemicals are distributed in different proportions between the paper product, wastewater, solid wastes and exhaust air, depending on the chemistry and physics of the additive components, the paper raw material and on the conditions of chemical addition as well. Figure 6.9 shows by use of one example (here: biocides) how the fate of additives in the paper manufacturing process may look like.

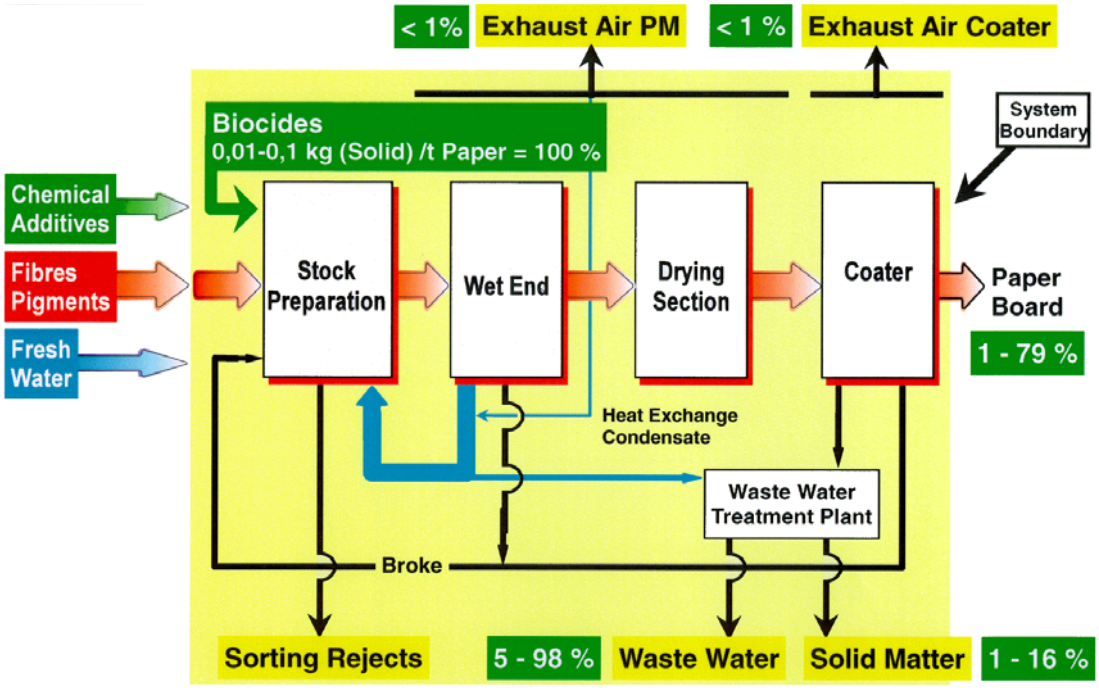


Figure 6.9: Fate of chemical additives in the paper manufacturing process; the example biocides [EUCEPA, 1997]

The example shows that besides the application of biocides in the papermaking process itself (between 10 - 100 g/t of paper) the input of biocides to the system together with other wet-end chemicals (e.g. starch, polyacryl amide), fillers (slurry of calcium carbonate) or utilised fibres (some recovered papers) has to be taken into account for the assessment of the mass flows of biocides presented in Figure 6.9. Because of the big variety of the group of biocides and the fact that a lot of assumptions have been made to assess the possible dispersion of biocides to various parts of the environment the investigation has found relatively large ranges.

In general, the potential releases of chemical additives are screen rejects, wastewater (after treatment), sludge from primary and secondary wastewater treatment and exhaust air from the drying section of the paper machine and the coating machine respectively. A certain amount is usually retained in the paper sheet. [13]
The expected discharge of additives to water is directly related to the retention of the chemicals to the paper product (retention in the process) and the retention in the waste water treatment plant.

The retention factor describes the share of applied chemicals which is retained in the paper product and which is thus not passed to the environment (water, air, and land). The higher the retention the lower the discharge to the effluent and the lower the potential environmental effect of the applied additives. In case of product aids a maximum degree of retention is desirable from an economic (loss of additives) and ecological point-of-view. Since product aids are designed to give paper a particular characteristic, for reasons of costs and efficiency they generally have a relatively high level of retention to the cellulose fibres. Process aids are usually less retained because they produce their effect in the water circuits of the paper mills. A large proportion is discharged with wastewater. Knowledge about the retention of chemical additives and auxiliaries is therefore important.

The degradability of a substance is the crucial point to assess the amount of substances that will end up in the aqueous environment. Supposed that most effluents from paper mills are treated in biological wastewater treatment plants the retention factor together with the biodegradability makes it possible to carry out a rough estimation of the amount of substances released to the recipient.

Finally, if substances are neither retained in the paper web nor eliminated in the wastewater treatment plant data on aquatic toxicity and potential of bioaccumulation are of special importance.

For more specific information on main groups of substances or single substances it is referred to Section 5.2.2.3 and especially to Table 5.6. This table gives an overview about the main process and product aids. For further information it is referred to annex 1 ("chemicals and additives in paper manufacturing"). There the main groups of applied additives are discussed one by one divided into functional chemicals (product aids) and chemical aids (process aids) and subdivided into the most important groups of substances in terms of use and environmental effect.
Where available information on retention factors, biodegradability, toxicity and bioaccumulation are also given.

6.2.2.4 Energy demand

Paper industry could be generally described as energy intensive. Energy is the third highest cost in the papermaking process, accounting for approximately 8% of turnover [DG XVII, 1992]. This is inconsistent with the fact that less is published on specific energy requirement on process level than on water management for instance. Therefore, it is rather difficult to find qualified information on energy consumption related to different paper grades and product qualities, energy efficient technologies, and energy practices and usage within the European Paper Industry.

[13] This systematic and integrated assessment of chemical additives for which the use and fate of biocides is only one example has been worked out by the German ZELLCHEMING Technical Committee "Paper Production" and for some of the most common substances results have already been published in 1997 [EUCEPA, 1997]. The project is still running. However, there is still a lack of information about the extent to which the different substances are found in receiving environment.

The papermaking processes can be divided into the main areas: stock preparation, wet end, dry end and coating (optional). These can be further sub-divided into main process units. Table 6.6 shows the role of energy in each process and the potential for energy savings in these stages.

Main processes	Main process units	Type and role of energy in each process	Potential for energy saving
Stock preparation	Slushing	Up to 60 kWh power /t to break up dry pulp	Moderate
	Cleaning/screening	The amount of pumping energy and stock heating depend on the number of stages required and the type of fibre (recycled fibre needs more than virgin); About 5 kWh/t is used for virgin stock	Low for virgin fib.
	Refining	Very energy intensive. Electrical energy is mostly used to drive the rotor in the refiner. Depends strongly on the paper properties to be achieved; 100 - 3000 kWh/t	High
Wet end	Forming and draining	It uses large amounts of electricity for machine drive and vacuum processes. Energy efficient design of the headbox and twin wire machine leads to power savings; About 70 kWh/t is used for vacuum systems (varies with grade and porosity)	Moderate
Dry end	Pressing	It is not energy intensive in itself but efficient dewatering can give very large energy savings in the dryers	Moderate
	Drying	Apart from refining it is the most energy intensive process in papermaking. Mostly heat energy	Very high
	Size press and 2nd dryer section	Heat energy for after size press drying	low
	Calendering	Electrical energy for machine drives and pressing	low
Coating	Coating and dryer	Electrical and heat energy for re-drying	low

Table 6.6: Role of energy in the main papermaking stages and potentials for improvement [According to DG XVII, 1992; changed by EIPPCB]

The total demand for energy (consumption) in the form of heat (steam) and electric power for a non-integrated fine paper mill has been reported [SEPA-report 4712-4, 1997] to consume

- Process heat: 8 GJ/t (≅ 2222 kWh/t)
- Electric power: 674 kWh/t. [14]

This means that about 3 MWh electricity and steam/tonne product is consumed. When considering the primary energy demand for converting fossil fuels into power a total amount of 4 MWh/t of paper is needed.

The figures represent a modernised mill, like a mill built in the 1970s and since then modernised. The values include all the stages from disintegration of fibre raw materials to the final paper product and include also necessary service departments. Energy consumption for the coating process is included in the case of the production of coated paper (the mill is considered to have a capacity of 125000 t/a of coated fine paper from market pulp. The paper has a pigment content of 39% and a moisture content of 4.5%).

Table 6.7 shows the energy consumption in the form of heat and electric power for this non-integrated fine paper mill in a little more detail.

[14] This figure does not yet take into account the losses when transferring the energy of fossil fuels into electricity. When converting purchased electricity into primary energy consumption an energy yield of the electricity generating companies of 36.75%, can be assumed. In this case an electricity consumption of 674 kWh/t corresponds to 1852 kWh/t primary energy (e.g. coal).

Department	Process heat [MJ/t]	Electric power [kWh/t]
Stock preparation	0	202
Paper machine	8000	350
Coating kitchen	0	118
Total paper mill	**8000**	**670**
Effluent treatment	**0**	**4**
Total consumption per tonne of paper	**8000**	**674**
Turbine generator		0
Total external supply	**8000**	**674**

Table 6.7: Energy consumption in a non-integrated coated paper mill with a production capacity of 125000t/a [SEPA-Report 4712-4, 1997]
The external supply figure shows the amount of the total demand that is purchased from external sources as fuel oil, coal and gas and electricity

The electricity consumption depends to a certain extent on the paper grade produced. The lowest values correspond to packaging paper or corrugated base paper that consumes about 500 kWh/t, whereas printing and writing paper account for about 700 - 800 kWh/t. The highest power demand, up to 5600 kWh/ADt, is needed for some special paper grades. The power is mainly consumed by more intensive refining. More detailed information on electricity consumption is given further below.
Process heat in paper industry is mainly used for four purposes:

- Heating of water and liquors, wood or pulp, air and chemicals to the process demanded temperatures.
  Pulp and white water systems can often be kept warm enough without addition of steam. It is essential to minimise the use of fresh water and increase the use of white water from an energy point of view. In non-integrated paper mills except addition of warm fresh water, circulation of the white water through heat recovery is often necessary to keep the temperature at a sufficient level in the white water system.
- Evaporating water.
  In papermaking paper drying is the most energy demanding stage during which the major amount of heat is consumed to evaporate water in the paper sheet. It is important to minimise the amount of water to be evaporated by mechanical measures (pressing). Development of the press section (use of twin-wire and extended nip press) has resulted in somewhat lower moisture levels of the paper entering the drying section (this does not apply to tissue paper). In the case of surface sizing or coating the dried paper has to be dried again after adding surface glue or coatings to the paper web. Higher concentration and temperature of these chemicals result in reduced heat consumption.
- Covering the heat loss to the to the surroundings.
  The major part of heat losses with the humid exhaust air from the drying section is compensated by inlet dry air that has to be heated again. The heat requirements can be reduced by reducing the airflow through the drying section. This gives also a higher humidity of the outlet air, which increases the value of air as a source of secondary heat. Heat recovery through heat exchanger between the outlet humid air and the inlet dry air reduces also the heat consumption.
- Conversion into electric power.
  An increasing number of mills have installed co-generation of heat and power plants.

Electric power in paper industry is mainly consumed for the operation of various motor drives and refining in stock preparation.

The motors are used for running fans, pumps, compressors, stirrers, paper machines, presses, vacuum systems, various conveyors, etc.

For refining the electrical energy is primarily used to drive the rotor in the refiner. The energy usage varies by product with filter and blotting papers requiring least energy and tracing papers requiring the highest input. Typical power consumption is shown in Table 6.8.

Type of paper	Net energy [1] for refining [kWh/t]	Gross energy [2] [kWh/t]
Tissue	no data	up to 100
Printing and writings	60 - 100	90 - 300
Carbonless papers	150 - 200	250 - 500
Glassine/Greaseproof papers	450 - 600	600 - 1000
Tracing papers	800 - 1200	1600 - 3000

Notes:
1) Net energy is derived from the gross power minus the no load [3] or free running power
2) Gross energy is the total electrical energy consumed including the losses
3) The no load of a motor is the power that is taken up by mechanical drag and turbulent forces and this therefore not available to treat the fibres.

Table 6.8: Typical power usage in refining by product [DG XVII, 1992]

The potential for energy savings will be high in many cases. For example, many refiners are incorrectly sized or not well maintained and this results in a high no load power, which reduces refiner efficiency. Incorrect refiner fillings will cause an increased use of energy to achieve a given property. New refiners with enhanced efficiency can also save energy because of the very low no load power associated with this type of refiner.

In the following the consumption of electricity in paper mills is discussed more detailed to illuminate the technical background that build the basis for improvements and the application of energy efficient technologies.

The total electrical energy consumption at paper mills is summarised in Table 6.9. All energy usage inside the paper mill starting from pulp storage towers (in integrated mills) ending at finishing operations is included in these figures. Non-integrated paper mills must have pulpers that increase specific power consumption a little (up to 60 kWh/t). Wastewater treatment is not included. It should be noted that the mill efficiency changes the figures. The lower the efficiency the higher the deviation from the dimensioning figures that refer to 100% efficiency. The correction of the figures by the efficiency rate achieved plays a bigger role at old machines or multi-grade machines with a lot of grade changes.

Paper grade	Power consumption [kWh/t]
Newsprint	500 - 650
LWC paper	550 - 800
SC paper	550 - 700
Fine paper (uncoated)	500 - 650
Fine paper (coated)	650 - 900
Multiply board	≈ 680
Sack paper	≈ 850
Linerboard	≈ 550
Tissue	500 - 3000 *

Notes:
* Data range refers to real world examples i.e. no assumption of 100% efficiency. In general, for tissue production new equipment require higher energy consumption, allowing, on the other hand, a reduction of raw material needs. The different drying systems used in tissue mills, conventional Yankee, through air-drying or processes such as recreping, have a much greater effect on the energy consumption than other factors in the mill [according to ETS].

Table 6.9: Typical electrical energy consumption at modern paper mills based on dimensioning capacity of the paper machine [data from a supplier]
All electric power inside the PM building is included and can be calculated from total electrical energy consumption divided by the dimensioning production of the machine

The total figures for power consumption of paper mills is composed of a number of energy consuming subsystems that are explained in the following. The sum of the subsystems of Table 6.10 and Table 6.15 [all data from a supplier of paper mill equipment] correlates with the total power consumption figures of Table 6.9:

Type of machine	Power consumption	Remarks
Fast machines (> 1300 m/min.)	80 - 120 kWh/t	Head box feed pump energy increases in the third power when PM speed is increased
Slow machines	60 - 100 kWh/t	Slow machine may not have deaeration

Table 6.10: Typical specific energy consumption at the approach flow system of paper mills

Type of machine	Power consumption	Remarks
Fast machines (> 1300 m/min.)	70 - 110 kWh/t	Fast machines have bigger production; therefore specific power consumption is lower
Slow machines	80 - 120 kWh/t	

Table 6.11: Typical specific energy consumption at the vacuum system of the PM wet end at paper mills

Position	Power consumption new machines	Power consumpt. old machines	Remarks
Couch pit	3 -5 kWh/t	3 - 7 kWh/t	Older PMs (before the 90's) typically had concrete vats or the tank shape was not optimised for slushing; technical development resulted in decrease of power cons.
Press pulper	5 -8 kWh/t	7 - 12 kWh/t	
Dry end pulper	7 - 12 kWh/t	10 - 20 kWh/t	

Note:
Under machine pulpers are tanks under the PM where paper web is slushed with water. This pulper operates only during the web break

Table 6.12: Typical specific energy consumption at the under machine pulpers of the PM

Pulp grade	Power consumption	Remarks
De-inked pulp	30 -70 kWh/t	Manufacturing of pulp is not included in these figures; the higher end of the range refers to lower CSF levels. The actual power consumed per tonne of end-product depends on the amount of refined pulp used per tonne of end-product (if e.g. only 30% of refined pulp is required the values have to be multiplied by 0.3)
Long fibre (bleached)	100 - 200 kWh/t	
Short fibre (bleached)	50 - 100 kWh/t	
Long fibre (unbleached)	150 - 300 kWh/t	
Short fibre (unbleached)	100 - 150 kWh/t	

Table 6.13: Typical specific energy consumption for new machines at the refiners per tonne of refined pulp

Type of process	Power consumption	Remarks
White water system	20 -30 kWh/t	Water storage towers, save all, chests, pumps
Broke system	40 -60 kWh/t	Broke tower, broke screens, tanks and pumps
Mixing	10 -15 kWh/t	Mixing chest, machine chest, pumps and agitators
Bale pulping (only for non-integr. mills)	25 -40 kWh/t	Bale pulpers and conveyors, tanks and pumps
Pulp dosing (integr.)	5 - 10 kWh/t	Pulp line from storage to mixing chest; tanks, pumps
PM showers	5 - 10 kWh/t	PM shower water system consisting of pumps, filters, screens
Total electricity	**70 - 120 kWh/t**	**per tonne of product**

Table 6.14: Typical specific energy consumption at the stock preparation and white water systems per tonne of paper (excluding refining, pulpers and approach flow system)

Type of process	Power consumption	Remarks
Paper machine	80 - 140 kWh/t	PM drives, former, press, dryer, sizer, reel
Ventilation, PM	40 -60 kWh/t	Hood air supply, hood air exhaust, air to runnability components, wet end ventilation, machine room ventilation, fans and pumps
Ventilation (finish.)	50 - 80 kWh/t	All equipment after the reel (e.g. coating, calendering, winding area, etc.)
Steam and condenser	5 - 10 kWh/t	Condensate and vacuum pumps
Lubrication & hydraulic pumps	15 - 40 kWh/t	Lubrication units and hydraulic pumps
Coaters	15 - 25 kWh/t	
Calanders	100 - 120 kWh/t	
Winders	5 - 10 kWh/t	
Finishing	10 - 15 kWh/t	
Chemicals	5 - 50 kWh/t	Chemical mixers, feed pumps, screens

Table 6.15: Typical specific energy consumption of PM drives

Nearly all electric power that is consumed is transferred to energy in form of mechanical work, and is finally transferred into heat. This heat may be useful in many cases, since the heat contributes in keeping the systems at required temperature levels.

Electric power consumption in many systems in a mill is quite constant and fairly independent of production levels, especially in mills where regulators are not extensively used. A low specific energy consumption may then be achieved by keeping an even and high production level. Amongst others, a minimum idle run of machines implies a minimised electric power consumption.

6.2.2.5 Wastewater emissions

There are different sources of wastewater discharges from paper mills (see Figure 6.3):

Rejects from stock cleaning
Pulp is cleaned ahead of the paper machine for the removal of impurities. The rejects from the cleaners contain the impurities (e.g. shives and sand) and also some valuable fibres, suspended in water. These rejects are usually discharged to the effluent treatment, but may also be discharged directly to the sludge dewatering.

Excess white water
The process water together with the chemical additives applied is drained off in the wire section of the paper machine, to the main part, and is then finally removed from the paper in the press section and the drying section. The white water also contains the spent shower water from the cleaning of wires and felts. The main part of the white water is recycled within the paper machine as dilution water and shower water. The excess of white water - a certain amount of fresh water is added continuously to the paper machine which displaces white water - is discharged to the effluent or being used in stock preparation in integrated mills. This water usually passes through a fibre recovery unit before being discharged.
The amount of discharged white water depends on the degree of closure of the water circuits. It contains the major part of the continuous discharges of suspended solids and dissolved organic substances normally expressed as COD and BOD.

Temporary and accidental discharges
These discharges are not directly connected to the process and occur intermittently. Examples of such discharges are overflows of white water or even pulp from tanks or other equipment with poor level control, spent wash water from cleaning of equipment and flushing water from flushing of floors etc.
Emissions to water or soil from storage and handling of potentially hazardous chemical additives should be prevented by appropriate design and operation of the facilities in such a way that potential pollutants cannot escape (see Section 2.2.2.8)

Cooling and sealing waters
The spent cooling waters and sealing waters from the vacuum system and pumps do usually not contain suspended solids. These waters are often recycled to some extent. Clean cooling waters should be separated from the other effluents in order to minimise the load on treatment plants and to maintain their efficiency.

The most common quality parameters used for final effluent discharges from paper mills include Suspended Solids (SS); $BOD_{(5\ or\ 7)}$; COD; Total N and total P; AOX; and sometimes individual metals. More recently whole sample toxicity has been used for single mills (e.g. in Germany) or as parameters in an ordinance for paper mill wastewater (e.g. Austria) because of the complexity of effluents containing a wide range of substances.

The data in Table 6.16 below represent typical ranges for key wastewater parameters in discharges of French paper mills manufacturing different grades. These data should essentially be valid for mills within EU. However, the table can only give an indication about typical emissions because no further specifications or assumptions were presented and there are variations within each category. Data on discharges of European paper mills published at other places were less qualified so that it was even more difficult to understand what they represent. Qualified data on common emissions to water are still rare in Europe i.e. those data that include specifications for the different paper grades and also information whether or not and to which extent pulp production is included.

Paper type	TSS [kg/t]		COD [kg/t]		BOD_5 [kg/t]	
	before treatment	after treatment	before treatment	after treatment	before treatment	after treatment
Woodfree printing & writing	12 -25	0.3 - 2	7 -15	1.5 - 4	4 -8	0.4 - 0.8
Paper board	2 - 8	0.3 - 1	5 -15	1.2 - 3	3 -7	0.3 - 0.6
Tissue	2- 30	0.3 – 3 [2)]	8 -15	1.2 - 6 [2)]	5 - 7	0.3 - 2 [2)]
Speciality paper [1)]	20 - 100	0.1 - 6 [1)]	no data	1.5 -8 [1)]	no data	0.3 - 6 [1)]

Notes:
1) The figure for speciality paper is derived from [SEPA-Report 4713-2, 1997] and should represent the common emission levels to water from this mills in the EU. After treatment means in this report means after primary treatment only
2) The upper end of the emission range for tissue mills is derived from information of the Gernan Paper Association.

Table 6.16: Typical wastewater discharges paper mills before any treatment and after biological wastewater treatment [ADEME, 1996]
For speciality papers after treatment means after primary treatment only. The values seem to represent yearly averages (but it is not indicated)

The ranges reflect the differences in system closure, conditions of mills (size, age of equipment), applied internal measures to optimise water use as well as the different efficiencies and process control of external wastewater treatment plants. In integrated mills (e.g. recycled fibre processing mills) the white water of the paper machine is integrated with the process water of the stock preparation. Therefore, it is sometimes hardly possible to distinguish emissions from stock preparation and paper machine in recovered fibre processing mills (see Chapter 2 to 5).

The discharge of organic matter originate mainly from:

- Organic matter carried over or included in the pulp. This amount is normally more important in the case of an integrated mill

- Organic matter dissolved from the pulp in the refining stages ahead of the paper machine. This amount of released organics generated in the paper mill is generally higher for mechanical pulps than for chemical pulps. This amount - generally referred to as "generated in the paper mill" - corresponds to about 2 - 10 kg COD/t paper. This organic matter is mostly the dominating COD (and BOD) discharge from non-integrated paper mills.

- Organic chemicals applied as additives or auxiliaries in papermaking, which are not retained in the paper web. Usually, starch and their degradation products contribute significantly to the organic load. However, these substances are readily biodegradable. The significance of the contribution of chemical additives to the organic load of the paper mill depends on the amount and type of chemicals used. At least for some paper grades the share of additives to the total organic load discharged to the recipient is significant as nowadays the water emissions of paper mills have become generally lower after efficient biological treatment. Generally, there is a lack of knowledge about the contribution of chemical additives to the total wastewater load. In an investigation of a few mills in Germany the share of additives of the total COD load after biological treatment has been assessed. In the investigated example mills they amount to about 26% for coated printing and writing paper, 20% for newsprint from recovered fibre, 43% for hand towels from recovered fibres and 35% for coated carton board from recovered fibres [IFP, 1997]. However, these results may have great uncertainties (e.g. limited number of mills investigated; retention factors obtained in laboratory tests). The values therefore give only an indication about the possible amount of chemical additives that may be released via wastewater. They should not be generalised.

AOX emissions from paper mills have decreased over the last years as chlorine bleaching is practically abandoned today and are in general orders of magnitudes lower than those from ECF pulp mills. Nowadays, sources of absorbable organic halogen compounds are therefore mainly

some additives (e.g. wet strength agents and impurities as e.g. epichlorohydrin)) and to less extent process water treated with chlorine containing desinfectants (if applied).

Nitrogen and phosphorus compounds originate mainly from the necessary addition of these nutrients for effective operation of biological treatment plant. Some chemical additives may also contain organic bounded nitrogen compounds. For example, optical brighteners may contain up to 30% organic bound nitrogen (urea).

6.2.2.6 Solid waste generation

Various types of waste are generated at paper mills according to the following different sources:

Rejects from stock preparation
Rejects are generated by cleaning of the pulp furnish before the paper machine headbox. The rejects contain various impurities like shives, sand etc. and also some fibres. The dry solids content is usually around 1 - 25%. These rejects are normally led to the effluent treatment but may also be led directly to the sludge dewatering. Most of the solids will end up in the primary sludge from primary clarification. This is why the rejects are often not separately accounted for in the waste data.

Sludge from water treatment
Sludge from raw water and wastewater treatment represents at many paper mills one of the main groups of potential waste. Different types of sludge can be distinguished:

- Sludge from chemical pre-treatment of surface water to generate process water by means of chemical precipitation/flocculation. It is only generated in mills using surface water that needs this special treatment. In that cases the amount of sludge can be significant.

- Sludge from primary clarification. It is generated at most mills. It consists primarily of fibre and fines and of inorganic material at mills using fillers.

- Excess sludge from biological treatment. It contains a high proportion of organic material. The generation of sludge in anaerobic treatment is moderate (about 1/7 compared to aerobic treatment).

- Sludge from chemical flocculation is generated at mills carrying out tertiary effluent treatment. This treatment produces a considerable amount of sludge. The amount of organic/inorganic material in the sludge varies from mill to mill depending on the dosage and type of flocculants used. Many mills that manufacture coated papers operate a separate treatment of the wastewater from coating operations. For this concentrated effluents flocculation is a common practice resulting in sludge that has to be de-watered and further treated.

Table 6.17 gives some examples of the amount and types of rejects, sludge and other waste fractions generated per tonne of produced paper. The quantities of solid waste generated in paper mills depend on the type of paper manufactured, the raw materials used and to the techniques applied. It is difficult to find representative figures for the typical amount of solid waste for different types of paper mills that are sufficiently qualified, and that differentiate between different raw materials and paper grades. In different countries different waste fractions are reported. The main options of valorisation and major disposal routes respectively are described subsequently.

	Woodfree paper and board	Tissue from purchased chemical pulp	Speciality papers
Production per year (1994)	904509	24540	965962
Number of mills	6	1	20
Solid waste, total	29761	211	161945
Bark	0	0	407
Rejects from screening/cleaning	0	0	639
Sludges, total	27972	50	76506
- Chemi-mechanical sludge	8852	0	46259
- Biological sludge	120	0	159
- Mixed sludge from wastewater treatment	19000	50	30088
Residues from incineration, total	1	0	26842
- ashes/slags	1	0	26671
- residues from abatement of air emissions	0	0	171
Others, total	1788	161	57551
- paper waste	1709	90	46817
- others	79	71	10734
Specific waste [kg waste/t product]	**33**	**9**	**168**

Table 6.17: Amount of solid waste in [t/a] for some paper grades
(The figures refer to moist waste with a dry solid content needed for further utilisation of disposal), they show the total waste regardless if they are utilised or not [Solid Waste Handbook, 1996]

Biological and chemical sludges have poor dewatering properties. The sludge is usually thickened before being dewatered in a belt press, filter press, screw press or on a vacuum filter. Normally they are mixed with primary sludge (or bark if available) before dewatering.

Inorganic and/or organic chemicals are used to improve the dewatering of sludge by forming larger flocs. Mixed sludge can be dewatered to a 25-35% dryness with belt presses, 35-40% with filter presses and to 40-60% with a screw press using steam in the pre-treatment stage. The achievable degree of water removal depends to a certain extent on the quantity of biological sludge mixed with primary sludge, the ash content and the fibre content. In some paper mills the sludge is also dried after de-watering.

In many Member States the dumping of waste with high organic content is discouraged by governments and will probably be prohibited in the near future. The EU Directive on landfill of waste will support this tendency in setting targets to cut the amount of biodegradable (municipal) waste sent to landfills. Consequently alternative disposal routes and pre-treatment options need to be developed for larger quantities of sludge (see Section 6.3.14). Many organic substances are burnt for energy recovery. Burning reduces the volume of waste and the inorganic content remains as ash, which is normally transported to a landfill site. Ash is also used as raw materials for cement industry.

Besides production related rejects and sludge, ash and dust from power boilers form a group of waste which is generated in some mills (depending on the fuels used and the applied abatement technique for air emissions).

Other waste fractions
In addition, there are other types of waste generated in smaller amounts, but which still may create problems as regards disposal. The following types can be distinguished but they are difficult to quantify as specific amount per tonne of product:

- scrap iron and other metals
- plastics
- chemicals including coating residues
- spill oil
- glass
- packaging (e.g. container for chemicals, palettes, etc.)
- building waste as wood, concrete, bricks etc.
- waste from laboratories
- domestic waste
- paper waste that can not be utilised in the mill
- wires and felts

Most of this material can be utilised when the single waste fractions are collected and stored separately.

6.2.2.7 Atmospheric emissions

Air emission from energy generation
Air emissions from paper and board mills are mainly related to energy generation i.e. to various types of power plants and not to the papermaking process itself. Because atmospheric emission levels of paper mills are directly linked to energy consumption saving energy will lead to a reduction in air emissions. For instance, co-generation of heat and power consumes less energy than conventional separated generation of electricity and heat because the conversion efficiency of fuel use of CHP plants is significantly higher. For the amount of total primary energy used and the associated emissions it is very significant whether the mill uses purchased electricity from the public grid or power generated on site in a CHP.

Furthermore, the emission levels depend on the type of fuels used (coal, oils, gas) and the implementation of emission control technologies for reduction of SO_2 and NO_x, particulates and non-incinerated organic gaseous substances. Abatement techniques for air emissions are generally applicable to combustion processes of fossil fuels for generating power and steam. Because air emission control technologies are not specific related to the paper industry but the industry in general, this issue will not be broadly elaborated in this BREF. Only some generally acknowledged opportunities for improvement of the environmental performance of energy supply in paper mills are discussed as techniques to consider in the determination of BAT (see Section 6.3.15 and 6.3.16).

Air emissions from the paper mill
Releases to air that are not related to energy generation are mainly volatile organic compounds (VOC). This emission is usually of minor importance and within generally acceptable limits (i.e. below national limit values for these substances).
Situations where emissions of volatile organic compounds need to be controlled are related to a limited number of paper mills of different types. In the exhaust air of paper mills that utilise volatile organic additives in the production process those substances are measured in low concentrations. Most volatile components of virgin pulps have been lost to atmosphere by the time that the pulp reaches the paper machine. However, in the dryer section of the paper machine or after coating the paper web is heated up to 100°C to evaporate the residual water. Apart from the water vapour also volatile components from the fibre material and from chemical additives are released. Usually no special abatement techniques for these emissions are applied in paper mills because the released loads are rather small.

The results of a recent investigation of the exhaust air in 7 paper mills in Germany are summarised in Table 6.18.

Investigated installations	Total mass flow as orgC, $_{total}$	Mass concentration as mg orgC/Nm^3	Remarks
PM, woodfree paper, unsized	0.7 kg/h	2 - 17 mg/Nm^3	98% from the dryer section
PM+CM woodfree paper, coated	No data	10 - 30 mg/Nm^3	Fluctuations; maybe partly caused by residual methane
PM+CM, woodcontaining, coated	No data	48 mg/Nm^3 at pre-dryer 24 mg/Nm^3 at post-dryer	90% from pre-dryer; 10% post-dryer;
CM, woodfree paper, double-coated	4.9 kg/h	30 - 67 mg/Nm^3	Emissions partly caused by residual methane
PM, woodfree, size pres	1.6 kg/h	2 - 77 mg/Nm^3	Main emissions (56%) from suction of wire and press section
PM, RCF paper and board	0.8 kg/h	6 - 26 mg/Nm^3	70% from pre-dryer
PM, RCF paper	2.4 kg/h	3 - 8 mg/Nm^3	
Notes: PM = Paper machine; CM = Off-line coating machine; PM+CM = Paper machine with in-line coating machine			

Table 6.18: Organic substances measured in the exhaust air of paper mills before heat exchanger [PTS-FB 09/97]

It can be concluded that the concentrations of organic substances in the exhaust air of paper mills can usually be considered as low so that no abatement technique for air emissions is required. The measured concentration of total organic carbon varies significantly. Values between 2 and 135 mg/Nm^3 have been measured. A specific load between 0.05 - 0.5 kg $orgC_{total}$/t of paper was determined in the exhaust of the seven investigated mills [PTS-FB 09/97]. The emission of some single substances of concern in the exhaust air of coating machines as e.g. acrylonitrile (occur only when acrylonitrile butadiene binder systems are used) can be avoided or reduced by careful choice of coating colour recipes. Coating colour recipes that contain carcinogenic compounds should be avoided. Formaldehyde - concentrations between 0.1 - 4.8 mg/Nm^3 have been measured - is normally more difficult to prevent because it has different sources as wet strength agents, preservatives, biocides etc.

Examples of operations where higher concentrations of VOCs are released are the following:

- Coating of paper with coating colours that contain organic solvents, although the basis of coating colours is exclusively aqueous (lower concentrations of various volatile substances (as e.g. formaldehyde, alkyl substituted aromatics, lower alcohols) can be measured in the exhaust of every coating machine).
- Preparation of papers with resins and production of speciality papers by using volatile additives.

Examples of volatile organic compounds (VOCs) which are released to the atmosphere are the following:

- Alcohols
- Formaldehyde contained in urea or melamine formaldehyde (UF/MF) resins used as wet strength agents
- Acetone and other ketones
- Phenols (only in special cases)
- Solvents used for cleaning machine fabrics (usually a minor application)
- Organic acids and residual monomers of polymers

In a few special cases particulates from some finishing operations may raise concern.

Emissions from sludge and residue incineration (optional) may also occur. However, on-site incineration of sludge and other residues is usually only carried out in integrated mills (see Chapter 2 -5). In integrated mills sludge may be incinerated together with bark in bark boilers or in recovered paper mills in dedicated incinerators together with other rejects.

Odours from vapours and from wastewater treatment plants (local)
In paper mills odours may be found. They may be caused by too long retention times of process water in the water system (pipes, chests, etc.) or deposits of sludge causing the built up of volatile organic acids (volatile fatty acids (VFA) primarily acetic and propionic acids). These compounds may be formed by microbial action on organic substances (notably starches) under anaerobic conditions, which may be released at the wet end, during paper drying and during effluent treatment. To a small extent, hydrogen sulphide could also be generated under anaerobic conditions. If so, they can be avoided by suitable process engineering measures. The wastewater treatment plant may also emit significant quantities of odour. If the wastewater treatment is well designed and controlled annoying odours can be avoided.

6.2.2.8 Noise from paper machines (local)

Noise from paper mills has only a local impact but for the working environment and the neighbourhood it may be the most serious of all environmental problems caused by a paper mill.

Paper machines are known as noisy installations. The major noise sources of paper and board machines as wire section, press section, dryer section, coater, winder and ventilation are compiled in Table 6.19.

Wire section	Press section	Dryer section	Coater	Winder	Ventilation
Suction rolls	Built-in gears	Steam and condensate system	Air dryers	Dust control system	Process ventilation fans
Vacuum system	Suction rolls	Basement enclosure	IR dryers (cooling air)	Drives	Machine room ventilation fans
Showers	Hydraulic systems	Process ventilation	Structure born noise from machine frame	Trim handling	Air dryers
Drive system	Showers	Electric motors	Blade coating	The paper web	Nozzles
Ventilation	Steam boxes	Gears	Drives	Gears	Fan drives and motors
Electric motors	Structure borne noise from machine frame (gears & guide rolls)	Broke conveyor	The paper web	Hydraulic system	Air intake opening
Centrifugal cleaners	Drives	The paper web	Fan room for air dryers	Knifes	
High pressure pumps	Vacuum system	Dry end pulper		Nips	
Wet end pulper	Press pulper			Winder pulper	

Table 6.19: Major noise sources of paper and board machines

Besides the paper machine, there are other sources of noise that may contribute to the noise level. Examples are the refiners and vacuum pumps. By use of an example, ranges of noise levels for a paperboard mill are shown in Figure 6.10. The absolute values of this example are not considered to be representative for the sector but rather to be low because the board machine is running at a low speed (600-800 m/min) and has applied a lot of measures to reduce the noise level. In the wet end of a fast running paper machine (e.g. 1700 m/min.) the noise level is 95 - 105 dB(A).

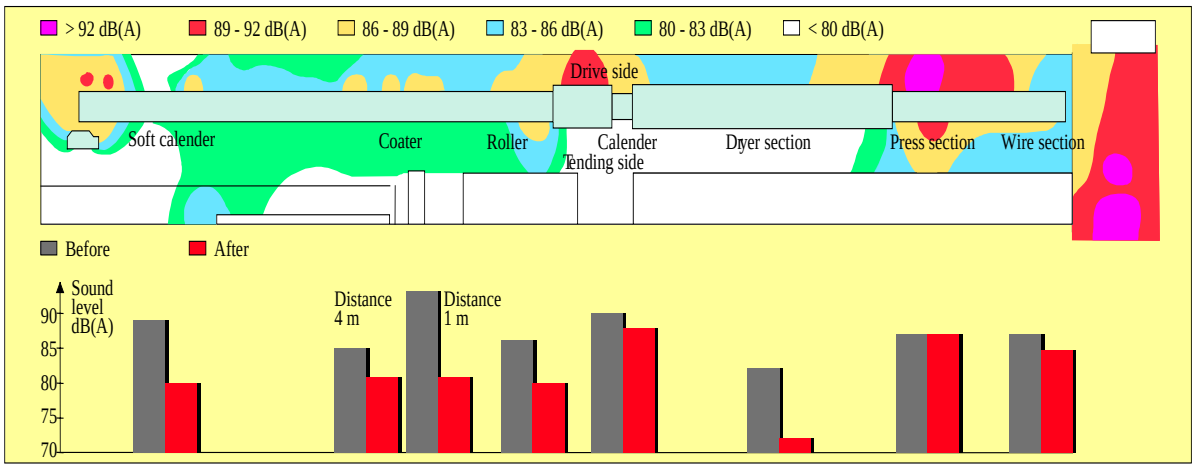


Figure 6.10: Machine room noise levels before and after the rebuild in different sections of a paperboard mill.
Noise zones on machine floor level. Board machine and adjacent operational buildings [Paper News]

It can be seen that for internal noise levels there is a difference between drive side and tending side of the machine.

The figure shows that it is possible to decrease the noise level step by step by a bundle of measures at the main noise source. A possible measure for internal noise control is for example the installation of a new closed hoods with higher sound insulation. As an example the results for a board machine is presented in Figure 6.10. There, the sound level on the floor in the central part of the hoods of the dryer section is 82 dB(A) and at the press Section 85-88 dB(A).

For external noise control examples of measures are the installation of absorptive silencers and/or pipe resonators to reduce noise levels from exhaust air fans and vacuum pumps, or silencers and sound insulation hoods for the fans on the building roof etc. (see Section 6.3.19). The measures applied will depend to a large extent to the specific noise problem of a mill and the targets set. Usually they will be much stricter when the mill is located adjacent to a residential area.

To a certain extent the suppliers of machinery have replied to this problem of noise and vibration in developing more silent equipment and efficient silencers. The activities are focused on the measures necessary to attenuate noise at the source. Those measures aim at the prevention of noise already at the machine design stage and noise attenuation for existing equipment. The target noise levels applied depend on the country and the mill location and the object to create a better working environment for the papermakers themselves.

6.3 Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden

In diesem Abschnitt sind alle **relevanten** Techniken aufgeführt, die gegenwärtig sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen für die Vermeidung von Emissionen/Abfall und für die Reduzierung von Energie- und Rohstoffverbrauch verfügbar sind. In diesem Dokument werden diese wichtigsten technischen Möglichkeiten für den Umweltschutz und für die Einsparung von Energie als „Techniken, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet werden“ bezeichnet. Sie stellen die relevanten technischen Alternativen oder Verbesserungsmöglichkeiten mit den besten erreichten Werten und Umweltnutzen und mit der besten Wirtschaftlichkeit dar. Diese Techniken betreffen prozessbezogene und Behandlungs-/Entsorgungsmaßnahmen. Die Vor- und Nachteile bei der Umsetzung bestimmter Techniken werden umrissen. Diese Liste von Techniken ist nicht erschöpfend und kann bei der Überarbeitung dieses Dokuments fortgeführt werden.

Die Darstellung der verfügbaren Techniken beinhaltet für jede Technik eine Beschreibung, die wichtigsten erreichten Emissionswerte, die Anwendbarkeit, Verlagerungseffekte, Angaben zur Wirtschaftlichkeit, Betriebserfahrungen, Anlagenbeispiele und Literaturangaben.

Einige der in diesem Kapitel beschriebenen Maßnahmen gelten nur für bestimmte Papiersorten, während andere unabhängig von der hergestellten Papiersorte anwendbar sind. Der erstere Fall wird jeweils angegeben. Ansonsten wird davon ausgegangen, dass sich die Maßnahmen allgemein auf die Papierherstellung beziehen.

Viele Papierfabriken sind in eine Zellstofffabrik integriert, andere sind teilweise integriert, d.h. ein Teil des eingesetzten Zellstoffs besteht aus zugekauftem Zellstoff und ein Teil wird vor Ort hergestellt. Deshalb gibt es eine bestimmte Überschneidung zwischen dem chemischen und mechanischen Aufschluss bzw. der Altpapierverarbeitung auf der einen und der Papierherstellung mit den damit verbundenen Prozessen auf der anderen Seite. In diesen Fällen wird auf die betreffenden Kapitel verwiesen, um unnötige Wiederholungen zu vermeiden und um Ähnlichkeiten und Unterschiede der verschiedenen Prozesse herauszustellen.

Da zahlenmäßig die meisten europäischen Fabriken nichtintegrierte Papierfabriken sind, erscheint es Wert zu sein, der Papierherstellung als alleiniger Aktivität an einem Standort ein separates Kapitel zu widmen. Wir müssen uns aber bewusst sein, dass die Fabrik oft, zumindest bis zu einem gewissen Grad, eine Aufschlussanlage betreibt. In diesen Fällen sind die entsprechenden Kapitel zum Aufschluss auch zu berücksichtigen.

Tabelle 6.20 bietet einen Überblick über die Techniken zur Reduzierung der Emissionen aus der Papierherstellung und den damit verbundenen Prozessen. Es wurde versucht, in derselben Tabelle zu jeder Technik, die bei der Bestimmung der BVT betrachtet wird, mögliche Verlagerungseffekte anzugeben. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es keine leichte Aufgabe ist, die Verlagerungseffekte so zu beschreiben, dass keinerlei kontroverse Diskussion ausgelöst wird. Bei der Bewertung der Verlagerungseffekte gibt es eine Vielzahl von Grauzonen. Weiterhin können sie von anderen Techniken abhängen, die mit der gegebenen Maßnahme zusammenhängen, vom Bezugspunkt, mit dem eine Technik verglichen wird, und auch von den betrachteten Systemgrenzen. Deshalb sollte die qualitative Bewertung der Verlagerungseffekte nur als Orientierungshilfe für Betreiber und Aufsichtsbeamte verstandenen werden. Sie nennt die Nebenwirkungen, die mit einer Maßnahme möglicherweise verbunden sein können und ist nicht mehr als der Ausgangspunkt für die Betrachtung von Verlagerungseffekten von einem Umweltmedium in das andere. Die Ergebnisse der Bewertung sollten nicht als zwingend angesehen werden. Weiterhin können einige der Verlagerungseffekte durch die Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen vermieden werden.

Die Tabelle weist auch darauf hin, auf welches Umweltmedium (Wasser, Luft, Abfall und Energie) die jeweilige Maßnahme abzielt. Die entsprechenden Abschnitte zu der detaillierten Darstellung jeder Technik liefern weitere Erklärungen.

In den Reihen sind die einzelnen verfügbaren Techniken zusammengestellt. In den Spalten wird durch die nach oben und nach unten gerichteten Pfeile ("↑" und "↓") die Tendenz der Auswirkungen angedeutet, die durch die verschiedenen Techniken hinsichtlich Emissionen, Rohstoffverbrauch und Betriebsverhältnissen in der Fabrik ausgelöst wird. Nach unten gerichtete Pfeile "↓" weisen auf Einsparungen bei Rohstoffverbrauch und Energieeinsatz und auf Reduktionen von Emissionen in die Medien Wasser, Luft und Boden hin. Nach oben

gerichtete Pfeile "↑" deuten auf eine Erhöhung der Emissions- und Verbrauchsniveaus hin. Einige der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung betreffen gleichzeitig mehr als ein Umweltmedium (Wasser, Luft oder Boden). Einige Techniken können eine positive und/oder negative Auswirkung auf andere Umweltmedien oder auf den Rohstoff- und Energieverbrauch haben (Verlagerungseffekte). Die auftretenden Auswirkungen werden mit den Pfeilen ausgedrückt. Bei der Einführung einer bestimmten Maßnahme bedeutet ein in Klammer gesetzter Pfeil "(↑)" eine leichte, oft vernachlässigbare Erhöhung des Rohstoff- und Energieverbrauchs oder von Emissionen in die Umwelt.

Die wirtschaftlichen Aspekte (Investitions- und Betriebskosten) sind in der Tabelle nicht enthalten, werden aber im Text erklärt. Grundsätzlich können die Angaben zur Wirtschaftlichkeit nur ein ungefähres Bild liefern und deuten so die Größenordnung der Kosten an. Sie variieren mit der Konzeption der gesamten Anlage und hängen unter anderem von der Größe der Fabrik und der Verträglichkeit der Maßnahme mit anderen Anlagenteilen ab.

Jede Technik ist mit der Kapitelnummer versehen, um das Auffinden des entsprechenden Textabschnittes zu erleichtern, in dem jede einzelne Technik im Detail dargelegt ist.

Techniken, die bei der Festlegung der BVT betrachtet werden	**Auswirkungen auf die Verbrauchs- und Emissionsniveaus (Verlagerungseffekte)**					
	Chemikalien-verbrauch	nergie- (E) und Wasser-(W) verbrauch	Abwasser-emissionen	Abga emis-sione	Fester Abfall	Anwend-barkeit
6.3.1 Wassermanagement und Minimierung des Wassereinsatzes für verschiedene Papiersorten	(O)	(↓) E, (↓) W	↓	O	O	alle Sorten
6.3.2 Kontrolle der möglichen Nachteile einer Wasserkreislaufeinengung	↑	O	(↓)	O	O	alle Sorten
6.3.3 Integrierte Behandlung von Kreislaufwasser mittels Membranfiltration	O	(↑) E, (↓) W	(↓)	O	O	alle Sorten
6.3.4 Reduzierung der Faser- und Füllstoff-Verluste	↑	↓	↓	O	(↓)	alle Sorten
6.3.5 Rückgewinnung und Rückführung von mit Streichfarbe belastetem Abwasser	(↓)	O	↓	O	↓	alle gestrichenenSorten
6.3.6 Separate Vorbehandlung des beim Streichen anfallenden Abwassers	(↑)	O	↓	O	(↑)	alle gestrichenenSorten
6.3.7 Maßnahmen zur Senkung der Häufigkeit und der Auswirkungen von unbeabsichtigten Einleitungen	O	O	(↓)	O	O	alle Sorten
6.3.8 Messtechnik und Automation	(↓)	↓	↓	O	O	alle Sorten
6.3.9 Ausgleichsbecken und primäre Abwasserbehandlung	O	O	↓	O	O	alle Sorten
6.3.10 Aerobe biologische Behandlung	(↑)	↑ E	↓	O	↑	Die meisten Sorten
6.3.11 Chemische Fällung	↑	(↑) E	↓	O	↑	alle Sorten
6.3.12 Ersatz potenzieller Schadstoffe	O	O	↓	O	(↓) Schädlich-keit	alle Sorten
6.3.13 Vorbehandlung des Schlammes	(↑)	(↑) E	O	O	↓ Menge	alle Sorten
6.3.14 Optionen für die Abfallbehandlung	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwe-ndbar	nicht anwend-bar	alle Sorten
6.3.15 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NOx-Emissionen in Hilfskesseln	O	O	O	↓	O	alle Sorten
6.3.16 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung	O	↓ E	O	↓	O	alle Sorten
6.3.17 Optimierung der Entwässerung in der Pressenpartie der Papiermaschine	O	↓ E	O	O	O	alle Sorten
6.3.18 Energieeinsparungen durch energiesparende Technologien	O	↓ E	O	O	O	alle Sorten
6.3.19 Maßnahmen zur Lärmreduzierung	O	O	O	↓	O	alle Sorten
Legende/Fußnote: Die positiven und negativen Nebeneffekte werden auch angegeben. ↑ = Erhöhung; ↓ = Reduktion; O = keine (oder vernachlässigbare) Auswirkung; (↑) oder (↓) = geringer Einfluss in Abhängigkeit von den Bedingungen						

Tabelle 6.20: Übersicht über die verfügbaren Techniken für die Festlegung der BVT für Papierfabriken

6.3.1 Wassermanagement und Minimierung des Wassereinsatzes für verschiedene Papiersorten

Diese Maßnahme ist im Zusammenhang mit Abschnitt 6.3.2 zu verstehen, der von der Beherrschung der potenziellen Probleme mit der Wasserkreislaufschließung handelt.

Beschreibung der Technik: Die Maßnahmen zur Wasserreduktion in Papier- und Kartonmaschinen sind ein komplexer Sachverhalt, die größtenteils von dem angestrebten Grad der Kreislaufschließung abhängen. Obwohl es eine Vielzahl von technischen Alternativen gibt, die von Fabrik zu Fabrik etwas differieren können, gibt es einige grundlegende Lösungen für die Wasserreduktion, die nachfolgend aufgeführt sind:

- Sorgfältige Trennung von Kühlwässern und Prozesswasser und ihre Wiederverwendung nach Rückkühlung mittels Kühltürmen. Es wird eine 10 - 15 %ige Frischwasserzubereitung für die Rückführung der Wasserströme benötigt. Zu Schutzzwecken wird die Entfernung der Feststoffe mit einem Mikrosieb oder einem anderen Knotenfänger empfohlen. Sofern Kühlwasseranteile kanalisiert werden, werden sie nicht dem Kanal für verunreinigtes Prozesswasser zugeführt.
- In integrierten Fabriken wird der Wasserkreislauf in der Papiermaschine von den Aufschlussabteilungen getrennt gehalten und das überschüssige Kreislaufwasser aus der Papiermaschine wird der Aufschlussabteilung zugeführt, wo es im Gegenstrom eingesetzt wird.
- In Papiermaschinensystemen ist das Spritzwassersystem normalerweise der größte Frischwasserverbraucher. Unter der Annahme eines Gesamtwasserverbrauchs von ca. 20 - 30 m^3/t Papier liegt der Spritzwasserverbrauch normalerweise im Bereich von 4 - 15 m^3/t. Zur Reduktion des Frischwasserverbrauchs auf ein vernünftiges Niveau muss das meiste Frischwasser durch geklärtes Kreislaufwasser (Klarwasser) ersetzt werden. Zu diesem Zweck wird eine wirksame Faserrückgewinnung in Verbindung mit der Bereitstellung von klarem (oder superklarem) Kreislaufwasser für den Ersatz von Frischwasser in den Papiermaschinen-spritzrohren angewendet (siehe 6.3.3 und 6.3.4). Auf diese Weise können Spritzwasser-systeme mit beträchtlich reduziertem Frischwasserbedarf erreicht werden. Allerdings ist es normalerweise nicht empfehlenswert, alle Filtrate für die Pressenpartiespritzrohre (z.B. Hochdruckspritzrohre für den Filz) zu verwenden, da ansonsten Ausfällungen von kolloidalen Stoffen aus dem geklärten Kreislaufwasser auf dem Filz auftreten können. Dies kann zu einer Verstopfung des Filzes führen. Bis heute benötigen die Hochdruckspritzrohre für den Filz Frischwasser. Im Falle, dass ein Betreiber dennoch Filtrat verwenden möchte, muss die Wasserbehandlung sorgfältig untersucht werden, damit wenigstens die kolloidalen Stoffe ausgetragen werden (siehe Abschnitt 6.3.3 oder5.3.8).
- Kreislaufführung für einen Teil des Vakuumpumpensperrwassers mit Kühlung und Feststoffentnahme.
- Management aller Rohmaterialflüsse durch die Papierfabrik mit dem Verständnis, sie als Einheit von Fasern, Chemikalien und Wasser zu verstehen, die sich gegenseitig beeinflussen. Es wird z.B. der gesamte Input an Chemikalien überwacht und daraufhin untersucht, wie sie die Wasserqualität und die Nasspartiechemie beeinflussen (kontrollierter Input ins System).
- Auslegung und Unterhaltung des Rohrleitungssystems und der Speicherbehälter in solcher Weise, dass überschüssige Wassermengen gespeichert und die Wasserqualität nicht beeinträchtigt wird.
- Training und Motivation des Personals ist für das Erreichen und das Aufrechterhalten eines niedrigen Wasserverbrauchs entscheidend.

In Abhängigkeit vom Ausgangspunkt, von den Charakteristiken der Fabrik und der Produktqualität kann mit diesen Ansätzen der Frischwasserverbrauch einer Maschine zur Herstellung von ungestrichenem Papier oder Karton 5 - 12 m^3/t und bei einer Maschine zur Herstellung von gestrichenem Druckpapier 7 - 15 m^3/t Papier erreichen.

Die Reduktion des Wasserverbrauchs mit dem Ziel der weiteren Abwasserreduktion erfordert die zusätzliche Einführung einer physikalisch-chemischen (siehe Abschnitt 5.3.8), biologischen (siehe Abschnitt 5.3.4) oder mechanischen Technik (siehe Abschnitt 6.3.3) oder einer Kombination davon zur Behandlung des Abwassers auf Recyclingqualität.

Die Menge an vielen angereicherten anorganischen und organischen Stoffen ist eine wichtige Einschränkung zum Erreichen dieses Zieles, da diese Verunreinigungen zur Vermeidung von Problemen beim

Maschinenbetrieb und zur Einhaltung der Qualitätsanforderungen an das Papier oder an den Karton auf einem niedrigen Niveau gehalten werden müssen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Maßnahmen zur Wasserreduktion können sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken durchgeführt werden. Allerdings ist die Trennung der Halbstoff- und Papierwasserkreisläufe in integrierten Fabriken oder ein hoher Grad der Wasserkreislauf-einengung in älteren Fabriken teurer, da für das Erreichen des Zieles einer weiteren Kreislaufeinengung eine umfangreiche Erneuerung des Rohrleitungssystems und umfangreiche Änderungen der Maschinennasspartie wahrscheinlich sind. In bestehenden Maschinen ist es schwierig, diese Änderungen ohne umfangreiche Erneuerung oder Ausweitung des Prozesses zu erreichen. Mit Neumaschinen kann der reduzierte Wasserverbrauch etwas einfacher umgesetzt werden. Ein anderes anzusprechendes Problem in bestehenden Fabriken ist die Eignung der Werkstoffe, die der Anreicherung von korrosiven Stoffen, wie Chloriden, und hohen oder erhöhten Wassertemperaturen standhalten müssen. Im Allgemeinen ist die Wasserkreislauf-schließung umso schwieriger, je unterschiedlicher die Produkte sind und je öfter die Art des hergestellten Papiers gewechselt wird. Kleinere Fabriken mit nur einer Papiermaschine haben es gewöhnlich mit mehr Produktionswechseln im Laufe des Jahres (oder des Tages) zu tun als größere Fabriken, die große Mengen der gleichen Papiersorten herstellen. Der individuelle Aufbau der Anlagen ist zu beachten.

In Abhängigkeit von der Ausgangssituation der Fabrik liegen die erreichbaren Werte für den gesamten Frischwasserverbrauch für einige Papiersorten in den folgenden Bereichen:

- Zeitungsdruckpapier: 8 - 13 m^3/t
- Ungestrichenes Feinpapier: 5 - 12 m^3/t
- Gestrichenes Feinpapier: 5 - 15 m^3/t
- LWC-Papier: 10 - 15 m^3/t
- SC-Papier: 10 - 15 m^3/t
- Mehrlagiger Faltschachtelkarton: 8 - 15 m^3/t (Frischfasern)
- Wellenpapier: 4 - 10 m^3/t (Frischfasern)
- Tissue: 10 - 15 m^3/t (Frischfasern; schwergewichtige Produkte oder Sorten mit niedriger Qualität); 15 - 25 m^3/t (Frischfasern; leichtgewichtige Produkte oder Sorten mit hoher Qualität)

Der Frischwasserverbrauch hängt hauptsächlich von der Papiersorte, der Anzahl von Spritzrohren und der Menge an faserhaltigem Wasser, das für die Papiermaschinenspritzrohre eingesetzt wird, den Fabrikbedingungen und dem Sammeln von Informationen zur Wasserverwendung ab. Leichtgewichtige Papiere benötigen im Allgemeinen etwas mehr Wasser je Tonne Endprodukt.

Emissionsmessungen: Übliche Messeinrichtungen beinhalten Durchflussmesser für das der Papiermaschine zugeführte Frischwasser, das den Spritzrohren zugeführte Wasser und für die wichtigsten Kreislaufwasserströme. Die Messung von abfiltrierbaren Stoffen oder der Trübung im Klarwasser ist hervorzuheben, besonders wenn es für die Papiermaschinenspritz-rohre eingesetzt wird.

Verlagerungseffekte: In Papierfabriken mit niedrigem Wasserverbrauch treten die Verunreinigungen im Abwasser in höherer Konzentration auf, was oft zu höheren Reinigungsleistungen beiträgt. Zu einem bestimmten Maß können die Rohstoffverluste und der Energieverbrauch reduziert werden. Geringere Abwassermengen bedeuten gewöhnlich auch eine niedrigere, dem Gewässer zugeführte Wärmemenge.

Betriebserfahrungen: Die beschriebenen Maßnahmen sind in Europa in vielen Papierfabriken umgesetzt. Auch in bestehenden Fabriken sind die Erfahrungen gut und die gegenwärtige Konzeption der Papiermaschinen unterstützt die Anwendung dieser Maßnahmen**.**

Klarwasser oder Superklarwasser vom Stofffänger wird zunehmend in Papiermaschinen-spritzrohren eingesetzt. Wenn der Feststoffgehalt im Kreislaufwasser zu hoch oder die Partikelgröße über dem Querschnitt der Spritzdüsen liegt, würden die Düsen verstopfen. Die Wasserverteilung für diese Spritzrohre sollte vorbeugend über einen integrierten Knotenfänger erfolgen, der mit einer automatischen Ablassvorrichtung zum Schutz gegen die Auswirkungen einer Stofffängerstörung und zusätzlich zur Vermeidung des Kreislaufwasserersatzes

durch Frischwasser ausgerüstet ist. Auch Reinigungsvorrichtungen für die Spritzrohre mit internen Bürst- oder anderen Reinigungseinrichtungen können zur Vermeidung solcher Probleme beitragen.

Allerdings ist der niedrige Wasserverbrauch in bestehenden Fabriken das Ergebnis einer Kombination von unterschiedlichen Maßnahmen und erfordert normalerweise viele Jahre der Entwicklung und der Prozessverbesserungen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine allgemeinen Informationen zu den Kosten für die Wasserkreislaufeinengung verfügbar, da in diesem Zusammenhang jede einzelne Anlage einen individuellen Fall darstellt. Die Ausgaben hängen hauptsächlich von den technischen Charakteristiken der Firma und den örtlichen Bedingungen ab. Die Kosten für diese Maßnahmen hängen von der Anzahl und der Art der notwendigen Ansätze zur Wasserkreislauf-führung und der Art der zusätzlich benötigten Installationen ab.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: In Fabriken, in denen die Wasserverfügbarkeit beschränkt oder der Wasserpreis hoch ist, bedarf es eines Bündels an möglichen Maßnahmen zur Reduzierung des Frischwasserverbrauchs. Die Verbesserungen haben unter dem Strich oft einen positiven Effekt wegen der möglichen Einsparungen, die durch niedrigere Kosten für Rohwasser, niedrigere Verluste an Fasern und Füllstoffen, manchmal niedrigerem Energieverbrauch und niedrigere zu behandelnde Abwassermengen erreicht werden.
Sowohl Erhöhungen der Produktionskapazität als auch die begrenzte hydraulische Kapazität der bestehenden Abwasserbehandlungsanlage sind ebenfalls Gründe für die Anwendung dieser Maßnahmen.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Fabriken in Europa.

Literatur: [CEPI, 1998 b]

6.3.2 Kontrolle der möglichen Nachteile einer Wasserkreislaufeinengung

Beschreibung der Technik: Das erhöhte Recycling von Prozesswasser in Papier- und Kartonmaschinen führt zu einem Anstieg der Konzentrationen an kolloidalen und an gelösten organischen und anorganischen Inhaltsstoffen in diesen Strömen. In Abhängigkeit von den Charakteristiken des zugeführten Halbstoffes und den zur Papierherstellung eingesetzten Chemikalien kann das Schließen der Wassersysteme einen nachteiligen Effekt auf den Betrieb der Maschine, auf die Qualität des Endproduktes und sogar wegen des erhöhten Chemikalien-einsatzes auf die Produktionskosten haben. Diese potenziellen negativen Effekte müssen kontrolliert werden. Die möglichen Vor- und Nachteile der Reduzierung des Wasserverbrauchs sind in Table 6.21 wiedergegeben. Die möglichen Nachteile der Wasserkreislaufeinengung bedürfen Kontrollmaßnahmen, die nachfolgend vorgestellt sind.

Mögliche Vorteile	Mögliche Nachteile
Verbesserte Rückhaltung der löslichen Stoffe in der Papierbahn	Höhere Konzentrationen an gelösten und kolloidalen Stoffen in den Wasserkreisläufen
Reduzierter Energiebedarf für das Aufheizen und Pumpen	Gefahr der Schleimbildung, die zu Ablagerungen und Bahnbrüchen führt
Bessere Entwässerungseigenschaften im Sieb, was zu Energieeinsparungen im Trockner-bereich führt	Risiko der niedrigeren Produktqualität, z.B. bezüglich Weißgrad, Festigkeit, Weichheit, Porosität
Geringere Investitionskosten durch weniger Anlagenteile	Erhöhter Verbrauch an Betriebsmitteln
Einsparung an Rohstoffen wegen der niedrigeren Verluste	Korrosionsgefahr (höhere Konzentration an Chloriden)
Höhere Reinigungsleistungen bei der Abwasserbehandlung	Höheres Risiko hinsichtlich Verstopfung von Rohrleitungen, Spritzdüsen, Sieb und Filzen
Reduzierung der Abwassereinleitungen insgesamt	Probleme bei der Einhaltung der Hygienean-forderungen für Tissue und für Produkten für den Nahrungsmittel- und Medizinbereich

Table 6.21: Mögliche Vorteile und Nachteile einer verstärkten Wasserkreislaufeinengung in Papierfabriken

Der Halbstoff und das Wasser enthalten gelöste und kolloidale organische Stoffe, die als “anionische Störstoffe” bezeichnet werden. Bei höheren Konzentrationen beeinträchtigen diese organischen Stoffe die Retention und die Bildung der Papierbahn und erhöhen die Verstopfung der Nassfilze und verursachen ein Verkleben der Papierbahnen auf den Maschinenrollen. Bei der Herstellung von Papieren aus Holzstoff sind die Probleme ausgeprägter, da die meisten Holzinhaltsstoffe noch im Halbstoff vorhanden sind und sich teilweise im Prozesswasser lösen. Bei der Herstellung von Nahrungsmittelverpackungs-materialien muss das Produkt frei von schädlichen löslichen Stoffen sein. Der Temperatur-anstieg in der Papier- oder Kartonmaschine muss derart kontrolliert werden, dass die Grenzwerte für die Betriebstemperatur, 45 - 55 °C in der Nasspartie, nicht überschritten werden. Auf der anderen Seite ist eine heiße Halbstoffsuspension im Siebbereich der Papiermaschine von Vorteil, da die Viskosität des Wassers mit ansteigender Temperatur abnimmt, was zu einer verbesserten Entwässerung führt.
Die Anforderungen für die Kontrolle der Auswirkungen der Wasserkreislaufeinengung sind:

- Das Kreislaufwassersystem der Papier- oder Kartonmaschine bekommt kein Wasser von den integrierten Aufschlussabteilungen oder von parallel betriebenen Maschinen. Diese Trennung der Wasserkreisläufe wird normalerweise mittels Eindickern durchgeführt. Die optimale Konzeption der Wasserkreisläufe ist ebenfalls entscheidend.
- Das den Spritzrohren der Maschine zugeführte recyclierte Kühl- oder Sperrwasser und das saubere Kreislaufwasser werden zum Schutz gegen Verstopfungen und gegen den Verschleiß von Maschineneinrichtungen mittels eines geeigneten Knotenfängers behandelt.
- Sperrwasserkreisläufe werden mittels Wärmetauscher oder mit sauberem zubereitetem Wasser ausreichend gekühlt. Besonders der Vakuumpumpenbetrieb begrenzt die tolerierbare Sperrwassertemperatur.
- Die Zusammensetzung (z.B. das Vorhandensein von kolloidalen Stoffen), die Härte, der pH-Wert und die Temperatur des für einen bestimmten Zweck rückgeführten Wassers sind mit den dort vorhandenen technischen Einrichtungen oder Prozessströmen verträglich. Es ist von Vorteil, die tatsächlich benötigte Wasserqualität zu bestimmen.
- Die Halbstoffe sollten vor der Zuführung zur Papiermaschine zur Reduktion des Gehaltes an gelösten oder kolloidalen Stoffen effizient gewaschen werden. In integrierten Fabriken würde es auch von Vorteil sein, einen Zellstoffanteil am Input zur Papiermaschine von über 30 % anstelle von üblicherweise 2 - 4 % zu haben, um so die Verschleppung von organischen Stoffen zu reduzieren. Dies kann zur Verminderung des Papierchemikalien-verbrauchs, wie Aluminium, Polymere oder Stärke, und der Maschinenhilfsmittel, wie Waschchemikalien, Schleimbekämpfungsmittel und Biocide, beitragen.
- Bei der Anwendung der Grundsätze für die Wasserkreislaufführung muss die Auswahl der Papierchemikalien und der Maschinenhilfsmittel neu bewertet werden, da sich einige Chemikalien unter den veränderten chemischen Bedingungen sehr unterschiedlich verhalten. Die Untersuchung von rückgeführten Wasserströmen durch on-line-Messgeräte und durch Laboranalysen ist von Vorteil, da sie dazu beiträgt, das Überschreiten von vorgegebenen Qualitätsgrenzwerten zu vermeiden.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Die Maßnahmen können sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken angewendet werden. Allerdings benötigen bestehende Fabriken für die Umsetzung dieser Verbesserungen normalerweise viele Jahre. Das erforderliche Niveau der Maßnahmen schwankt von Einzelfall zu Einzelfall: Der Maschinentyp, das Produkt/die Produkte und der Grad der Wasserkreislaufschließung stellen die Schlüsselparameter dar. Die Anforderungen sind bei der Herstellung von ungebleichten Packpapiersorten am niedrigsten und werden sehr anspruchsvoll für Papiersorten mit hoher Qualität, wie es z.B. Feinpapiere sind.

Bei höheren Gehalten an gelösten und kolloidalen Stoffen besteht wegen der erhöhten Prozesswasserkreislaufführung die Tendenz, dass ein höherer Anteil dieser Stoffe im Endprodukt verbleibt. Hierzu sind durch die Produktqualität und durch den akzeptablen Verbrauch an Papierchemikalien Grenzen gesetzt.

Auch beim Einsatz der Sperr- und Kühlwässer sind der Wassertemperatur und dem Gehalt an gelösten und partikulären Stoffen Grenzen gesetzt. Einem zu hohen Gehalt dieser Stoffe muss durch Reinigungseinrichtungen und/oder durch ausreichende Abschlämmung begegnet werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Maßnahmen werden als integraler Bestandteil der in Abschnitt 6.3.1 beschriebenen Maßnahme angesehen. Sie unterstützen diese Maßnahme zur Erreichung und Aufrechterhaltung eines niedrigen Frischwasserverbrauchs ohne bedeutende nachteilige Auswirkungen.

Emissionsmessungen: An den Stellen, an denen Abwasser aus der Papiermaschine abgeleitet wird, ist die Durchflussmengenmessung angeraten. Die on-line-Messung von abfiltrierbaren Stoffen oder der Trübung ist zur Anzeige von Belastungsspitzen wichtig. Zumindest sollte in der externen Behandlungsanlage die Temperatur überwacht werden.

Verlagerungseffekte: Die Kontrolle des Papiermaschinenwassers und der Recyclingqualität macht auch eine verbesserte Kontrolle und messtechnische Überwachung des Aufschluss-prozesses notwendig. In einigen Fällen wird der Bedarf an Papierchemikalien und Papiermaschinenhilfschemikalien ansteigen. Die Art der eingesetzten Chemikalien muss zur Maximierung ihrer Eignung für eine bestimmte Papiersorte erneut überprüft werden.

Betriebserfahrungen: Dem bekannten Risiko der Belagbildung durch Calciumverbindungen, Schleim und Problemen mit schädlichem Harz muss mit einer geeigneten Mischung der Wasserfraktionen, der pH-Kontrolle, der erhöhten Dosierung von Maschinenhilfsmitteln oder einer geeigneten Ausschleusung von Calcium aus dem System (siehe 5.3.4) begegnet werden.

Wenn die Maschine bei einer Temperatur von über 50°C betrieben werden kann, sind das Wachstum der Mikroorganismen und deren Aktivität im Wassersystem geringer. Allerdings sind Anaerobier auch noch bei einer Temperatur von über 50°C aktiv (thermophile Bakterien) und erzeugen bei Schwefel- und kohlenhydratreichen Umgebungsbedingungen Gerüche, die kontrolliert werden müssen.

Die erforderliche Optimierung durch die Einführung dieser Kontrollmaßnahmen wird in bestehenden Fabriken normalerweise in Stufen über einen langen Zeitraum durchgeführt. Der Erfolg beim Einsatz dieser Technologie hängt von Fall zu Fall von den chemischen Bedingungen in der Nasspartie ab. Einige Fabriken sind diesem Problem lediglich durch Einsatz von mehr Chemikalien entgegengetreten. Die Auswahl von geeigneten Chemikalien und Additiven sowie ihre Kombination ist eine ziemlich anspruchsvolle Angelegenheit und wird oft unterschätzt, ist aber zur Erreichung des maximalen wirtschaftlichen Betriebes und einer minimalen Umweltbelastung erforderlich.

In zahlreichen Fabriken mit teilweise geschlossenen Kreisläufen ist die wirtschaftliche Papierproduktion sogar für schnelllaufenden Papiermaschinen erfolgreich eingeführt worden. Durch den Einsatz einer verbesserten Recyclingwasserreinigung (siehe Abschnitte 6.3.3 und 5.3.4 und 5.3.8) können bestimmte Probleme und die Emission von Chemikalien durch die Kontrolle der Maschine verbessert werden; allerdings können sich daraus andere Probleme ergeben.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die finanziellen Ausgaben hängen hauptsächlich vom Zustand der Fabrik ab. Die Kosten der Maßnahmen hängen von der Anzahl und Art der notwendigen Umstellungen sowie von der Art der notwendigen zusätzlichen Einrichtungen ab. Angaben zu den einzelnen Kosten sind nicht verfügbar.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Das erhöhte Recycling des Prozesswassers in Papierfabriken kann nachteilige Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Betrieb der Maschine und die Qualität des Endproduktes haben. Wenn Papierfabriken einen niedrigen Frischwasserverbrauch anstreben, müssen diese potenziell negativen Effekte überwacht werden.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Fabriken in Europa

Literatur:
[CEPI, 1998 b], [Italienische Kommentare]

6.3.3 Integrierte Behandlung von Kreislaufwasser mittels Membranfiltration und Rückführung des behandelten Prozesswassers

Diese Technik kann auch in Fabriken auf Altpapierbasis angewendet werden. Allerdings gibt es bis heute keine großtechnischen Anwendungen für Altpapier verarbeitende Fabriken. Die integrierte biologische Behandlung des Prozessabwassers ist eine Möglichkeit für "braune Papiere", die aus Recyclingfasern hergestellt werden (siehe Abschnitt 5.3.4).
Obwohl die in diesem Abschnitt beschriebene Technik die gleiche wie in Abschnitt 6.3.5 ist, stellt sich die Anwendung sehr unterschiedlich dar.

Beschreibung der Technik: Die herkömmliche Filtration kann Feststoffe und kolloidale Stoffe unter einer effektiven Größe von 1 µm nicht zuverlässig entfernen. Auf diese Weise gelangen Bakterien und kolloidale Stoffe durch das Filtermedium hindurch. Allerdings trifft dies nur für nichtgeflockte Feststoffe und kolloidale Stoffe zu. Diese können durch Flockung auch in 100 - 1000 µm große Flocken überführt und leicht abfiltriert werden. Die Zugabe von Flockungsmitteln kann jedoch den Nachteil haben, dass unerwünschte Salze in das Wassersystem gelangen (moderne organische/synthetische Flockungsmittel verursachen keine relevante Salzbelastung).
In Abhängigkeit von der anwendbaren Trennschnittgröße (die dem ungefähren “Molekulargewicht” der entfernten organischen Stoffe entspricht) und dem Filtrationsdruck können Membrantechnologien theoretisch nahezu 100 % der organischen Stoffe (siehe Abbildung 6.11) ohne Eintrag von unerwünschten Stoffen in die Wasserkreisläufe entfernen.

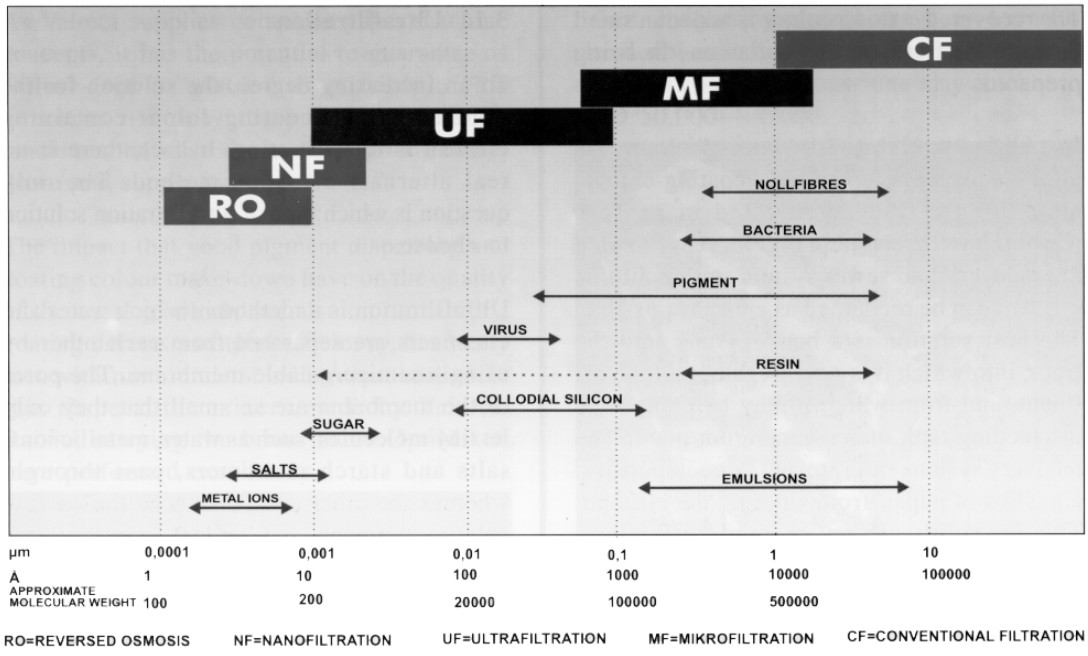


Abbildung 6.11: Filtrationsbereiche der verschiedenen Filtrationstechnologien
APPROXIMATE MOLECULAR WEIGHT = Ungefähres Molekulargewicht; BACTERIA = Bakterien; COLLODIAL SILICON = kolloidales Silikon; CONVENTIONAL FILTRATION = herkömmliche Filtration; EMULSIONS = Emulsionen; METAL IONS = Metallionen; MIKROFILTRATION = Mikrofiltration; NANOFILTRATION = Nanofiltration; NOLLFIBRES = Asbestfasern; PIGMENT = Pigment; RESIN = Harz; REVERSED OSMOSIS = Umkehrosmose; SALTS = Salze; SUGAR = Zucker; ULTRAFILTRATION = Ultrafiltration; VIRUS = Virus

Entsprechend der unterschiedlichen Porengröße können die verschiedenen Membranverfahren wie folgt eingeteilt werden:

- Die Mikrofiltration (MF), die bei einem Druck von unter 1 bar betrieben wird und für die Membranen mit 0,1 – 0,2 µm Porengröße verwendet werden, kann dort eingesetzt werden, wo nach der Behandlung 1 - 5

mg/l sehr feine Feststoffe akzeptabel sind. In den europäischen Papierfabriken gibt es gegenwärtig nur eine großtechnische Anwendung.

- Die Ultrafiltration (UF) wird bei 1 - 2 bar Druckdifferenz betrieben und wird als mögliche Lösung für die 100 %ige Entfernung von restlichen Feststoffen und kolloidalen Stoffen und hochmolekularen organischen Stoffen in Wasser- oder Abwasserströmen der Zellstoff- und Papierfabriken angesehen. In Europa gibt es ein paar großtechnische Anwendungen der UF-Technologie für die Kreislaufwasserbehandlung.
- Die Nanofiltration (NF) oder die Umkehrosmose (UO) werden bei Drücken von 15 - 25 bar betrieben. Aber bis heute sind diese Methoden für den großtechnischen Einsatz in der europäischen Zellstoff- und Papierindustrie nicht ernsthaft in Betracht gezogen worden (es gibt eine großtechnische Anwendung in der Wüste im Nordwesten von New Mexico).

Alle Arten der Membranfiltration können das plötzliche Auftreten von Spitzenbelastungen an Feststoffen nicht bewältigen. Wenn die suspendierten Feststoffe homogen sind, wird zur Vermeidung plötzlicher Spitzen (sogar) nur ein Polizeifilter benötigt.

Im Falle von Papierfabriken sind folgende Gesichtspunkte für die Auswahl der Membrantechnologie maßgebend:

- Zulaufstrom, seine Zusammensetzung und hydraulische Belastung, einschließlich der Spitzenbelastungen
- Menge und erforderliche Qualität des gereinigten Wassers und die Einsetzbarkeit des behandelten Wassers unter verschiedenen Betriebsbedingungen für die beabsichtigten Einsatzstellen und die Auswirkung auf die Zellstoff- oder Papierqualität
- Verfahren der Hochdruckfiltration stellen saubereres Wasser bereit, verbrauchen aber mehr elektrische Energie und müssen größer ausgelegt oder mit einer effizienteren Vorbehandlung ausgerüstet werden oder es müssen Gegenmaßnahmen zum Schutz vor Verstopfungen getroffen werden.
- Anforderungen an die Wartung (symmetrische oder asymmetrische Membranstruktur, Waschen mit Säuren oder Alkalien, freie Kapazität, automatisierte oder kontinuierliche Reinigung). Symmetrische Membranen neigen stärker zu Verstopfungen. Die Verstopfung kann durch Aufrechterhaltung von hochturbulenten Strömungsbedingungen an der Membranoberfläche vermieden werden, was aber etwas mehr Energie erfordert.
- Abschließende Behandlung und Entsorgung des Konzentrates oder Schlammes, die in den meisten Fällen Abfall sind. Der flüssige Abfall kann konzentriert genug sein, um in der externen Abwasserbehandlungsanlage toxische Effekte zu verursachen oder es kann eine weitere Konzentrierung oder Absorption zu einem festen Brennstoff für die Entsorgung mittels Verbrennung erforderlich sein. Einige anorganische Salze im Konzentrat sind korrosiv, was bei der Auswahl der technischen Einrichtungen und des Rohrleitungs-materials zu berücksichtigen ist.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte kann die UF als “Niere” zur Behandlung störender Stoffe im Kreislaufwasser und zur weiteren Schließung des Wassersystems eingesetzt werden.

Für die integrierte Kreislaufwasserbehandlung können die Nieren aus einem Scheibenfilter, aus Bogensieben und dem UF-System bestehen. Das vorfiltrierte Kreislaufwasser wird über Rohrleitungen dem Vorlagetank des UF-Systems zugeführt und zur UF-Anlage gepumpt. Die Anzahl der betriebenen Filter regelt die Menge an sauberem UF-Permeat. Die Druckdifferenz wird so niedrig wie möglich gehalten, z.B. bei 0,7 – 0,8 bar. Die Qualität des UF-Permeates ist für die Wiederverwendung ausreichend, wie z.B. für das Spritzrohrwasser, Sperrwasser und Verdünnungswasser für die Papiermaschinenchemikalien. Das Konzentrat aus den Filtern kann der zentralen Abwasserbehandlung zugeführt werden. Eine mögliche Konzeption für eine Papierfabrik mit Einsatz der Ultrafiltration zur Kreislaufwasserreinigung ist in Abbildung 6.12 wiedergegeben.

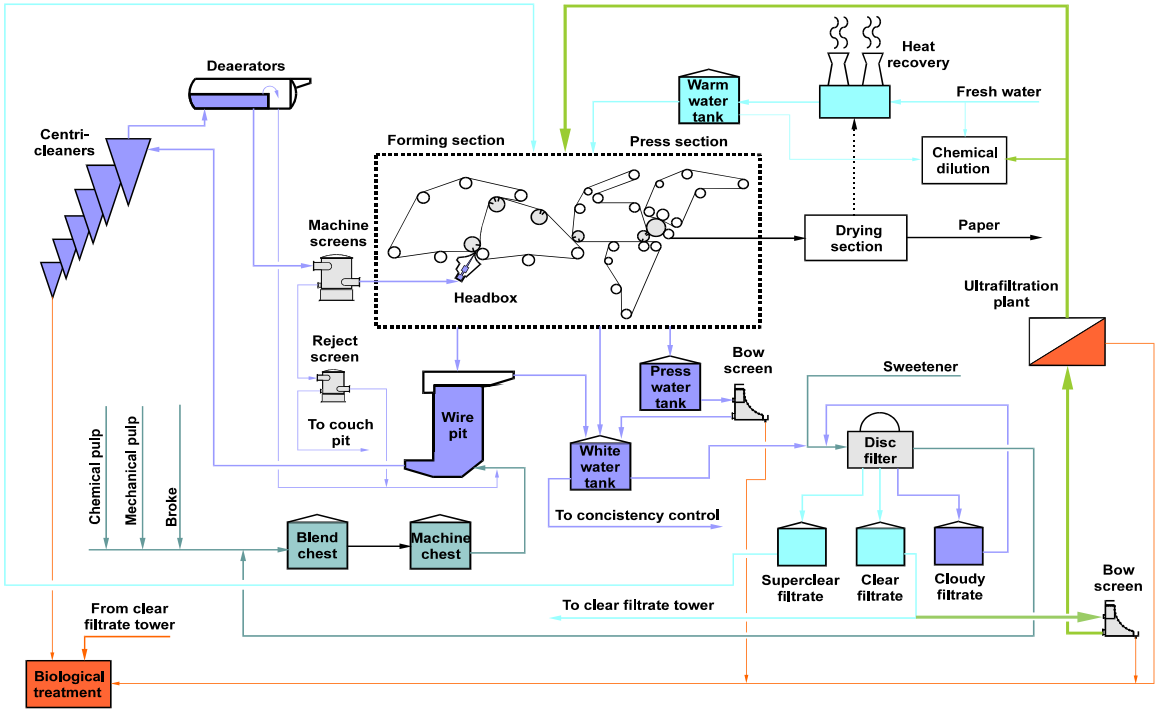


Abbildung 6.12: Mögliches vereinfachtes Layout einer Papierfabrik, die zur Kreislaufwasserreinigung die Ultrafiltration einsetzt
Blend chest = Mischbütte; Biological treatment = Biologische Behandlung; Bow screen = Bogensieb; Broke = Ausschuss; Centri-cleaners = Zentrifugalsortierer; Chemical dilution = Chemikalienverdünnung; Chemical pulp = Zellstoff; Clear filtrate = Klarfiltrat; Cloudy filtrate = Trübfiltrat; Deaerators = Entlüfter; Disc filter = Scheibenfilter; Drying section = Trockenpartie; Forming section = Blattbildungszone; Fresh water = Frischwasser; From clear filtrate tower = vom Klarfiltrattank; Headbox = Stoffauflauf; Heat recovery = Wärmerückgewinnung; Machine chest = Maschinenbütte; Machine screen = Maschinensiebe; Mechanical pulp = Holzstoff; Paper = Papier; Press water tank = Pressenwassertank; Reject screen = Endstufensortierer; Superclear filtrate = Superklarfiltrat; Sweetener = Filterhilfsmittel; To clear filtrate tower = zum Klarfiltrattank; To consistency control = zur Stoffdichtekontrolle; To couch pit = Gautschbruchbütte; Warm water tank = Warmwassertank; White water tank = Kreislaufwassertank; Wire pit = Siebwasserturm; Ultrafiltration plant = Ultrafiltrationsanlage;

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Die Membranfiltration wird weltweit in ein paar Papier- und Kartonfabriken zur Entfernung von Feststoffen, Bakterien, kolloidalen Stoffen, anionischen Störstoffen und hochmolekularen organischen Stoffen aus Wasserteilströmen angewendet. Die Behandlung von überschüssigem Kreislaufwasser mittels Ultrafiltrationsmembranen für die Wiederverwendung wird normalerweise nur in speziellen Fällen angewendet.
Für höher konzentriertes Prozessabwasser aus Papierfabriken, wie z.B. aus der Herstellung "braunem Papier" aus Altpapier, stellt die Anwendung der biologischen integrierten Behandlung des Prozesswassers, gefolgt von einer Sandfiltration, eine machbare Möglichkeit dar, wie sie in Abschnitt 5.3.4 beschrieben ist. Es gibt auch kombinierte, in der Entwicklung befindliche Systeme, so genannte Membranbioreaktoren (MBR), die in 5.5.2 beschrieben sind. In speziellen Anwendungsfällen, wie der Streichfarbenrückgewinnung aus den Streichabwässer aus der Papiermaschine stellt die UF-Membrantechnologie eine bereits geprüfte Technologie dar und es bestehen mehrere Anwendungsfälle (siehe Abschnitt 6.3.5).
Allgemein ausgedrückt, laufen noch einige Entwicklungsarbeiten zur Technik der Wasserkreislaufschließung bei Papiermaschinen mit darin enthaltener Entfernung von gelösten organischen oder anorganischen Inhaltsstoffen. Es ist (noch) keine so gut etablierte Technik wie beispielsweise die biologische Behandlung.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Reinigungsleistung von UF-Membranen für organische Stoffe ist fallspezifisch, wobei die Zielwerte durch die tolerierbaren Verschmutzungsniveaus im Papiermaschinensystem und den spezifischen Verwendungen des Recyclingwassers bestimmt werden.
Neben der Teilentfernung von organischen Stoffen können andere Membranen mit kleineren Porengrößen (wie NF oder UO) auch anorganische Stoffe reduzieren, aber die Systemgröße und der benötigte Druck bzw. die

Energie erhöhen sich exponenziell, wenn die Entfernungsrate für niedermolekulare organische Stoffe oder Salze erhöht wird.
Der Einsatz der Ultrafiltration (UF) für das Kreislaufwasser bedeutet normalerweise die Behandlung des Klarfiltrates und/oder von Teilen des Trübfiltrates aus dem Scheibenfilter. In der Praxis entfernen UF-Membranen die abfiltrierbaren Stoffe zu 100 %, Bakterien zu 99% , die Trübung zu 100% (alle kolloidalen Stoffe werden entfernt) und die anionischen Stoffe zu 45 - 70 %. Der gelöste CSB wird um ca. 10 – 20 % vermindert. Dies bedeutet, dass bei der Ultrafiltration Teile der organischen Stoffe (z.B. alle niedermolekularen organischen Stoffe) und die löslichen anorganischen Stoffe die Membran passieren. Als erstes führt die Ultrafiltration von Kreislaufwasser zu einer besseren Qualität des rückgeführten Wassers, das für die Nieder- und Hochdruckspritzrohre in der Siebpartie, als Verdünnungswasser für Chemikalien, als „Schmierwasser“ in der Pressenpartie oder für andere Wasch- und Reinigungszwecke eingesetzt wird. Es gibt noch keine Erfahrungen, ob das Permeat auch zur Filzreinigung eingesetzt werden könnte.

Die mögliche Reduktion des Frischwasserverbrauchs kann indirekt zu einem Rückgang der abgeleiteten Nährstofffrachten (N und P) führen, da die gesamten N- und P-Emissionen durch die Minimumkonzentration bestimmt werden, die für das Wachstum der Biomasse in den Abwasserbehandlungsanlagen benötigt wird.

Das Konzentrat aus der Membranfiltration (3 – 5 % der Zulaufmenge) wird der biologischen Behandlung zugeführt oder muss durch Verbrennung entsorgt werden. Letztere würde eine Konzentrierungsstufe vor der Verbrennung erfordern, was bei Einsatz der Eindampfung die Verminderung der Emission an flüchtigen organischen Stoffen erforderlich macht. Die Verbrennung des Konzentrates in Mischung mit normalen Brennstoffen in einem Hilfskessel kann in Abhängigkeit von der Art, der Kapazität und dem Brennstoffzuführungssystem des Kessels möglich sein.
In einem großtechnischen Anwendungsfall der Ultrafiltration in Europa (Finnland) wird das Konzentrat in der biologischen Behandlungsanlage weiter behandelt. In diesem Fall wird keine Reduktion der ins Gewässer eingeleiteten gesamten Schmutzstofffracht erreicht. Allerdings werden immer noch Untersuchungen zur Verwendung des Permeats für andere Zwecke (z.B. für Hochdruckspritzrohre) als Ersatz von Frischwasser und zur separaten Behandlung des Konzentrates (kann bei der Kombination der UF mit anderen Techniken der Fall sein) durchgeführt.

Emissionsmessungen: Die Messungen werden in einem separaten Kapitel dargestellt.

Verlagerungseffekte: Die Ultrafiltration erfordert für die Pumpen zur Überwindung der Druckdifferenz Strom im Bereich von 2,6 kWh/m^3 behandeltes Kreislaufwasser. Es sind keine Daten verfügbar zum Vergleich der Umweltleistungen von herkömmlichen Belebtschlammsystemen mit dem System der Anwendung von UF und biologischer Behandlung der Konzentrate in integrierter Art und Weise. Für die Membranfiltration ist die Lösung zur Behandlung der flüssigen oder festen Abfälle entscheidend.

Betriebserfahrungen: Behandlungsverfahren mit Membranen, die speziell für das Kreislaufwasser von Papier- und Kartonmaschinen eingesetzt werden, sind nur in wenigen Fällen großtechnisch getestet worden. In Europa bestehen bislang folgende großtechnische Anwendungen:

- Metsä-Serla Kirkniemi Fabrik, Finnland, Kreislaufwasserbehandlung; das zugeführte Wasser stammt aus dem Stofffänger; das Permeat wird als Niederdruckspritzwasser in der Siebpartie (anstelle von Klarfiltrat) eingesetzt.
- Stora Uetersen, Deutschland; Behandlung des Kreislaufwassers der Papiermaschine
- Rottneros Kartonfabrik, Schweden; Abtrennung der abfiltrierbaren Stoffe vor der Eindampfung des Konzentrates.

Die praktischen Grenzen für die Membranfiltration werden normalerweise durch das Membranmaterial selbst gesetzt, das gegenüber Verstopfung sehr empfindlich ist, wenngleich die Anlagen mit einer Vorbehandlung zur Feststoffentfernung oder integrierten Systemen ausgerüstet sind, die eine Reinigung oder die Aufrechterhaltung von starken Turbulenzen auf der Membranoberfläche ermöglichen. Die regelmäßige Wäsche der Filter mit Säuren oder alkalischen Lösungen (NaOH, Detergenzien und Tenside) ist erforderlich. Dies führt zu kleinen Mengen flüssigen Abfalls. Wenn der Permeatfluss in die Knie geht, müssen die Membranen auch von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden (die Lebensdauer einer Membrane beträgt ca. 15 Monate).

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für die Membranfiltration von Kreislaufwasser würden die Kapitalkosten ca. 0,3 EUR/m^3 betragen (bei einer Behandlung von 5000 m^3/d Kreislaufwasser). Die Kosten für Unterhaltung und Wartung (Membranwechsel und Arbeitsstunden) liegen im Bereich von 0,05 EUR/m^3, die Energiekosten betragen ca. 0,07 EUR/m^3 und die Kosten für Waschchemikalien 0,02 EUR/m^3. Die gesamten Betriebskosten liegen bei 0,14 EUR/m^3.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Diese Technik dürfte zunächst in Fabriken eingesetzt werden, die mit strengen Anforderungen für die Abwassereinleitung konfrontiert sind, weil sie entweder an einem empfindlichen Gewässer liegen oder weil sie eine beträchtliche Kapazitätserhöhung vorhaben. In letzterem Fall verlangen einige Behörden in Europa, dass mit der Kapazitätserhöhung keine Erhöhung der Abwasserfracht einhergeht. Normalerweise setzen die Pioniere, die durch Einsatz von neuen Technologien viel niedrigere Emissionen erreichen, auf das "grüne Fabrikkonzept" als Teil ihrer Marketingphilosophie. Diese Techniken können auch in den Fällen eingesetzt werden, in denen die Verfügbarkeit von Wasser knapp ist.
Die Ultrafiltration von Kreislaufwasser kann auch die Betriebsstillstandszeit von Papiermaschinen reduzieren, die durch das erforderliche Auswaschen von Substanzen bedingt ist, die im rückgeführten Klarfiltrat in konzentrierter Form vorliegen.

Anlagenbeispiele:
Metsä-Serla, Kirkniemi Fabrik (Magazin- und Feinpapierherstellung), Finnland; Stora Uetersen, Deutschland; Rottneros Kartonfabrik, Schweden; McKinley Paper Co. (Kraftliner), New Mexico

Literatur:
[Teppler, 1996], [Bentley, 1999]

6.3.4 Reduzierung der Faser- und Füllstoffverluste

Diese Technik kann für alle Papiersorten mit Ausnahme von Tissue angewendet werden. Für Tissue hat die Rückgewinnung von Füllstoffen oder Feinstoffen keine Relevanz, da diese nicht zur Herstellung von Tissuepapier eingesetzt werden können und deshalb in der Faseraufbereitung entfernt werden.
Die in Abschnitt 6.3.5 beschriebene Technik trägt auch beträchtlich zur Reduktion von wertvollen Stoffen bei, die für gestrichene Papiersorten eingesetzt werden.

Beschreibung der Technik: Das Abfallmanagement in Bezug auf die effektive Faserrückgewinnung innerhalb der Papier- oder Kartonproduktion ist wichtig, weil bei einer akzeptablen Frischfaserverarbeitung üblicherweise mehr als 98 % des der Faseraufbereitung der Papier- oder Kartonmaschine zugeführten Halbstoffes im Endprodukt verbleiben sollen. Die bereits vor der Faseraufbereitung eingesetzten Zellstoff- oder Holzstoffanteile gewährleisten diese hohe Halbstoffqualität. Das Abfallmanagement bei den Papier- und Kartonmaschinen beinhaltet meist folgende Punkte:

- Sortieren in der Faseraufbereitung
- Stofffänger der Nasspartie und
- Behandlung des Ausschusses aus der Nass- und Trockenpartie.

Die zum Erreichen eines reduzierten Wassereinsatzes und zur Schließung von Wasserkreisläufen ergriffenen Maßnahmen haben teilweise auch einen Bezug zum Fasermanagement. Die Verbesserung der Wasserkreislaufschließung führt in den meisten Fällen auch zu einer Reduktion der aus der Fabrik abgeleiteten Frachten an organischen Stoffen.

Die Rejekte aus der Sortierung im Zuge der Faserstoffaufbereitung in Papier- oder Kartonmaschinen sollten in integrierten Fabriken zur Aufschlussabteilung zurückgeführt werden, wo sie erneut verarbeitet werden und die brauchbaren Faseranteile schlussendlich in der Maschine und im Endprodukt landen. Eine effiziente Sortierung vor der Maschine besteht aus hintereinander geschalteten Drucksortierern und mehreren Cleanerstufen.

Die Faser- und Füllstoffrückgewinnung in Papier- und Kartonmaschinen ist in Bezug auf die Reduktion von abfiltrierbaren Stoffen von Bedeutung.

Wenn der Halbstoff vom Stoffauflauf der Maschine zum Sieb geführt wird und die Blattbildung beginnt, wird eine beträchtliche Menge von Fasern und Füllstoffen zunächst nicht zurück-gehalten, sondern zu den Sammelbütten unter der Maschine geleitet (siehe Abbildung 6.1). Das Wasser des kurzen Kreislaufs wird unbehandelt zurückgeführt. Der Rest dieser Wässer wird über eine Stofffanganlage geführt, die üblicherweise aus einer Trommel oder einem Scheibenfilter oder einer Entspannungsflotation zur Abtrennung von Feststoffen aus dem Wasserstrom besteht. Diese Feststoffe werden anschließend in einer Bütte gesammelt und zur Papiermaschine zurückgeführt. Das geklärte Wasser, Kreislaufwasser genannt, wird üblicherweise als saubere und trübe Fraktionen gesammelt und für geeignete Einsatzzwecke in der Papiermaschine rückgeführt: Verdünnung des Halbstoffes in der Stoffaufbereitung der Maschine, Verdünnung des Ausschusses, Einsatz als Spritzrohrwasser in der Papiermaschine. In integrierten Fabriken wird das überschüssige Kreislaufwasser am besten im Aufschluss-prozess eingesetzt oder, sofern akzeptabel, in parallel betriebenen Papier- oder Kartonmaschinen. In nichtintegrierten Fabriken wird es in die Kanalisation abgeleitet.

Für die Faser- und Füllstoffrückgewinnung in Papiermaschinen mit einer Stofffanganlage sind Scheibenfilter in den meisten Fällen eine effiziente Lösung zum Erreichen einer hohen Rückgewinnungsrate. Besonders in modernen Fabriken werden Vorschwemmfilter, für die eine kleine Menge von dem der Papiermaschine zugeführten Halbstoff zur Verbesserung der Filtereffizienz und zur Feststoffrückgewinnung auf der Filteroberfläche benutzt wird, oft eingesetzt. Der Filter arbeitet diskontinuierlich, aber die Feststoffentfernung und die Regenerierung benötigen bei Einsatz der vorgeschwemmten Schicht nur eine kurze Zeitdauer.

Die Scheibenfilter erlauben eine effiziente Fraktionierung des Kreislaufwassers in klare und trübe Anteile; in Fabriken mit geschlossenen Kreisläufen kann sogar eine “supersaubere“ Fraktion für spezifische Verwendungen abgetrennt werden. Das Superklarfiltrat von einem Scheibenfilter kann 10 - 20 mg/l abfiltrierbare Stoffe und Klarfiltrat 20 - 50 mg/l abfiltrierbare Stoffe enthalten, während im Vergleich zu herkömmlichen Filtern der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen deutlich über 50 mg/l liegt. Das Klarfiltrat kann in vielen Spritzrohreinrichtungen der Maschinennasspartie zur Begrenzung des Frischwasserverbrauchs eingesetzt werden. Das trübe Filtrat und der Rest des sauberen Wasseranteils können für die Halbstoffverdünnung vor der Maschine, im so genannten kurzen Kreislauf oder zur Verdünnung des Ausschusses der Maschine und in integrierten Fabriken im Aufschlussprozess verwendet werden. Auf diese Weise wird in Abhängigkeit von der Situation vor der Einführung der Verbesserungsmaßnahmen sogar 10 - 20 kg mehr Halbstoff pro Tonne erzeugten Papiers (zusätzlich Füllstoffe, soweit anwendbar) zur Maschine zurückgeführt anstelle der Kanalisierung von überschüssigem Kreislaufwasser.
In der Papiermaschine und sogar ihr vorgelagert sind auch andere Methoden zur Begrenzung der Faser- und Füllstoffverluste verfügbar:

- Anpassung der Halbstoffmahlung und –sortierung direkt oberhalb der Stoffzuführung zur Papiermaschine zur Aufrechterhaltung eines geeigneten Gleichgewichts der verschiedenen Faserarten im Halbstoff. Ein starkes Mahlen erhöht die Menge an Kurzfasern, die dann wieder als Rejekt beim Sortieren entfernt werden. In integrierten Fabriken können bestimmte Anteile der Rejekte aus der Sortierung zur Aufschlussabteilung rückgeführt werden.
- Effiziente Kontrolle des Stoffauflaufs der Papiermaschine zur Herstellung einer über die Maschinenbreite gesehen gleichmäßigen Papierbahn.
- Hinreichender Einsatz von Papier- und Prozesschemikalien zusammen mit einem modernen Überwachsungssystem zur Erreichung einer verbesserten Faserretention auf dem Sieb und einer guten Blattbildung. Allerdings sollte eine Überdosierung vermieden werden.

Die Speicherkapazität für den Ausschuss und das Kreislaufwasser hat auch eine Auswirkung auf das Feststoffmanagement und den Gewässerschutz. Die Büttengrößen sollten mindestens die Speicherung des Volumenstroms in der Maschine während zwei bis drei Stunden gewährleisten und die Bütten für den Ausschuss sollten so groß sein, dass diese Fraktionen mit hohem Faserstoffgehalt zurückgewonnen werden können. Dies reduziert die Häufigkeit und die Dauer von plötzlich auftretenden Spitzen bei der Faserbelastung und der hydraulischen Belastung von Ableitungen in die Fabrikkanalisation. In Papiermaschinen, die gestrichene Papiersorten herstellen, sollte der nach der Streichmaschine gesammelte Ausschuss mit frischem Halbstoff und Ausschuss aus der Nasspartie in solchem Verhältnis gemischt werden, dass der Gehalt an Feinstoffen in der Nasspartie der Maschine in vorgegebenem Rahmen bleibt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um prozess-integrierte Techniken. Die aufgeführten Verbesserungen können sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken eingesetzt werden. Allerdings sind in älteren Fabriken die Papiermaschinenbereiche für Umbaumaßnahmen wegen Platz- oder Layout-Problemen begrenzt.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die gesamten Feststoffverluste einer Papiermaschine, der Rejekte von der Faseraufbereitung in der Papiermaschine, des überschüssigen, in die Kanalisation abgeleiteten Kreislaufwassers, der Pressenpartien der Papiermaschine und der Halbstoffbüttenüberläufe wurden im Bereich von 10 – 100 kg Trockensubstanz/t erzeugten Papiers bestimmt. Besser betriebene Fabriken erreichen für viele Papiersorten Werte zwischen 10 - 20 kg/t hergestellten Papiers (d.h. 1 - 2 % Verlust). Einige bestehende Linien für Liner, Wellenpapier oder Spezialpapier überschreiten 50 kg Trockensubstanz/t Papiers.
Bei einer bestehenden Fabrik zur Herstellung von 1000 t/d Druckpapier bedeutet die praktizierte Rückgewinnung von 10 - 20 kg Feststoffe/t Papiers, dass diese Feststofffracht nicht in die primäre Abwasserbehandlung und zur Entsorgung des Schlammes aus der Abwasserbehandlung gelangt.

Die Reduktion der Feststoffableitung führt nur zu einem leichten Rückgang der als CSB oder BSB_5 bestimmten organischen Fracht. Allerdings wird eine höhere CSB- und BSB_5-Rückhaltung für Abwässer aus der Herstellung von Papiersorten erreicht, die Hochausbeutehalbstoffe enthalten.

Emissionsüberwachung: Die Kontrolle des Kreislaufwassers und des Niveaus der Ausschussbütte ist wichtig. Es ist hilfreich, den Kanal für Abwässer aus der Papierfabrik mit einer Mengenanzeige und Trübungsmessern zur Registrierung von Belastungsspitzen hinsichtlich Feststoffableitungen auszurüsten.

Verlagerungseffekte: Wegen der geringeren Ableitung von abfiltrierbaren Stoffen wird der Betrieb der externen Abwasserbehandlung verbessert. In der Primärbehandlung fällt weniger Schlamm an. Die Fasern und Füllstoffe werden für das Produkt verwendet und müssen nicht als Abfall behandelt werden. Wenn Fasern und Füllstoffe zu einem höheren Grad zurückgewonnen werden, muss dies auch als Einsparung von Rohstoffen und von Energie verstanden werden, die zur Herstellung dieser Stoffe notwendig sind.

Betriebserfahrungen: Diese Maßnahmen sind in vielen Papierfabriken ohne Probleme eingeführt. Grundsätzlich sind zwei Aspekte zu betrachten: Gute Standardverfahren und genauere Prozesskontrolle und –überwachung der Standardbetriebsvorgänge mittels Automation.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Angaben verfügbar

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die verbesserte Stoffrückgewinnung ist normalerweise wegen der besseren Rohstoffeffizienz und des geringeren zu deponierenden Abfalls von wirtschaftlichem Vorteil. Die verminderten, zur externen Behandlung abgeleiteten Feststofffrachten und die weitgehende Verminderung der Ableitung von abfiltrierbaren Stoffen in das betroffene Gewässer können auch eine Motivation zur Einführung der beschriebenen Maßnahmen zur Faserückgewinnung oder zur Vermeidung von Leckagen sein.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa.

Literatur:
[CEPI, 1998b]

6.3.5 Rückgewinnung und Rückführung von mit Streichfarbe belastetem Abwasser

Diese Maßnahme kann alternativ zu der unter 6.3.6 dargestellten BVT angewendet werden. Die Membrantechnologie sollte vorzugsweise eingesetzt werden, da sie die Möglichkeit der Wiederverwendung von Streichfarbenkomponenten bietet.

Beschreibung der Technik: In Papierfabriken, die gestrichene Papiersorten herstellen, fällt ein mengenmäßig kleiner Abwasserstrom an (ca. 2 – 5 % der Gesamtabwassermenge), der jedoch hohe Gehalte an Pigmenten und

Bindemitteln enthält (siehe 6.3.6). Die hohe Feststoffbelastung und die von Natur aus klebrigen Stoffe in diesem Abwasser verursachen Betriebsprobleme in der externen Abwasserbehandlung, wenn sie ohne geeignete Vorbehandlung abgeleitet werden. Auf der anderen Seite sind die Pigmente teuer, sodass die Rückgewinnung eines Teiles der Streichfarben für die Wiederverwendung und für die Minimierung der Streichfarbenaufbereitungsanlage wirtschaftlich ist.

Das umweltfreundliche Abfallmanagement für die Streichmassen besteht aus:

- Minimale Ableitung von Farben aus der Streichfarbenaufbereitungsanlage in die Kanalisation durch effektive Herstellung und Inventarisierung der hergestellten Streichfarben, besonders, wenn Papiersortenwechsel den Wechsel der Streichfarbenzusammensetzung erfordern. Bedeutende Faktoren sind effiziente eingeübte Arbeitsabläufe und gutes "Housekeeping".
- Optimale Konzeption der Streichfarbenaufbereitungsanlage und der Versorgungssysteme.
- Rückgewinnung der Streichfarbenkomponenten durch Behandlung des Streichabwassers mittels Ultrafiltration.
  Die Ultrafiltration ist ein Verfahren, mit dem Wasser und Chemikalien durch Einsatz einer semi-permeablen Membran voneinander getrennt werden. Die Poren der Membranen sind so klein, dass sie nur kleine Moleküle, wie Wasser, Metallionen, Salze und Stärkemonomere durchlassen, wohingegen die anderen Inhaltsstoffe der Streichfarben – Pigmente und Bindemittel – zu groß sind, um durch die Membran hindurchzukommen (siehe Abbildung 6.11). Das dem Prozess zugeführte Abwasser weist üblicherweise einen Feststoffgehalt von 2 - 4 % und das Konzentrat von 30 - 35 % auf. Bei Zugabe dieses Konzentrates zu frischer Streichfarbe wird diese nicht zu sehr verdünnt. Wie in Abbildung 6.13 gezeigt wird, besteht ein komplettes Ultrafiltrationssystem aus dem Filter, den Tanks, den Rohrleitungen, den Messgeräten und dem Kontrollsystem.

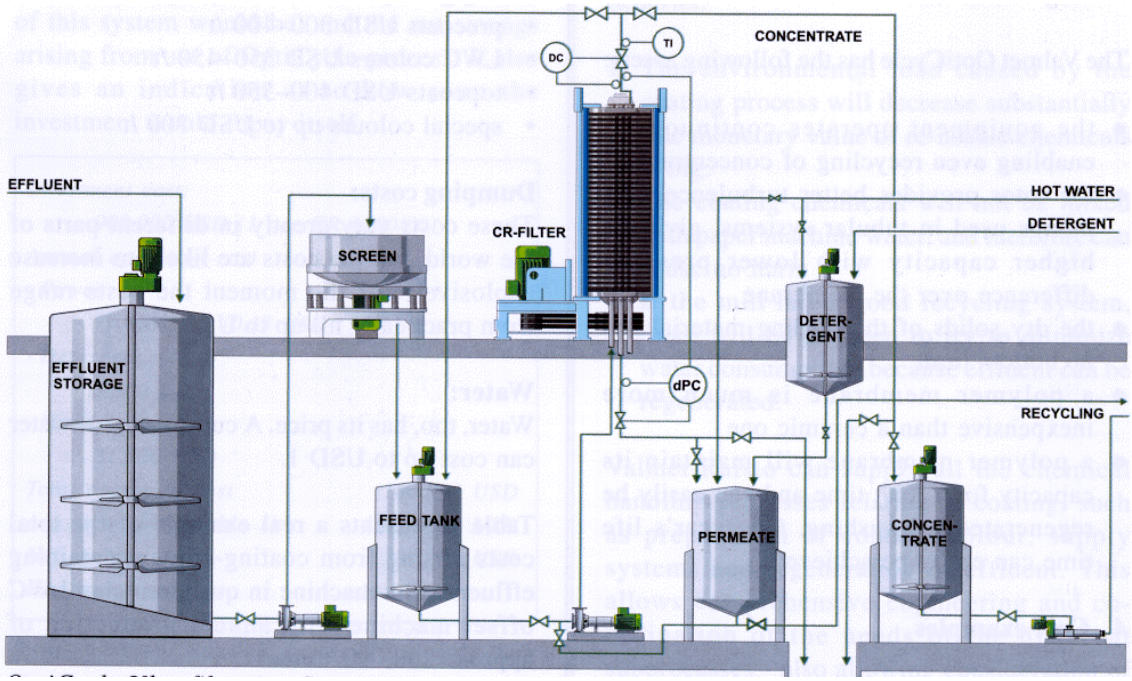


Abbildung 6.13: Beispiel für ein Rückgewinnungssystem mittels Ultrafiltration für Streichfarben [Roitto, 1997]
CONCENTRATE = Konzentrat; CR-FILTER = Cross-Flow-Filter; DETERGENT = Detergens; EFFLUENT = Abwasser; EFFLUENT STORAGE = Abwasserspeicherung; FEED TANK = Vorlagetank; HOT WATER = Heißwasser; PERMEATE = Permeat; RECYCLING = Recycling; SCREEN = Sieb

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Der Ansatz so wenig wie möglich Streichfarben abzuleiten und die separate Erfassung der Streichabwässer für ihre separate Behandlung mittels Ultrafiltration kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken eingesetzt werden. Die Ultrafiltration ist für die meisten Streichanlagen zur Herstellung von Magazinpapier, Feinpapier oder Kartonsorten technisch geeignet. Für

einige spezielle Papiersorten kann sie ungeeignet sein. Wenn die Abwassermengen sehr klein sind und an verschiedenen Stellen anfallen, kann die Entwicklung eines guten Rückgewinnungssystems für die Abwässer schwierig sein. In auf der grünen Wiese errichteten Fabriken gibt es kein solches Problem. Wenn die Arten der Streichfarbenkomponenten für eine Mischung völlig ungeeignet sind (z.B. eine große Anzahl von unterschiedlichen Arten an einem Standort) kann die Wiederverwendung beschränkt sein. Die erreichbare Feststoffkonzentration ist auf ca. 35 - 45% begrenzt. Sofern es kein Überschusswasser in der Formulierung der Streichfarben gibt, kann es schwierig sein, die gesamten Konzentrate wieder zu verwenden. Begrenzungen können auch dann auftreten, wenn die Abwassermenge zu groß ist.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Abwasseremissionen und die Abfallmenge werden deutlich reduziert. Die Streichfarbenkomponenten können nicht nur zurückgewonnen, sondern auch in die Produktion zurückgeführt werden. Es tritt auch eine leichte Reduktion des Frischwasserverbrauchs auf, da das Permeat wieder verwendet werden kann.

Emissionsmessungen: Die on-line-Messung der Streichereiabwassermenge an kritischen Stellen ist vorteilhaft. Zusätzlich ist die Verfolgung der Streichchemikalienqualität durch Laboranalysen des Feststoff-, des BSB_5- und des CSB-Gehaltes erforderlich.

Verlagerungseffekte: Die Reduktion der Streichereiabwasserableitung mit separater Behandlung dieses Abwassers verbessert die Reinigungsleistung der externen Abwasserbehandlung. In Abhängigkeit vom Verhältnis der Herstellung von gestrichenem und ungestrichenem Papier kann die Menge an festem Abfall um 70 % vermindert werden. Dies bedeutet beträchtliche Einsparungen, die von den Kosten für die Deponierung abhängen.

Betriebserfahrungen: Der Einsatz der Ultrafiltration hat sich in vielen Fabriken als erfolgreich erwiesen. Bei Einsatz von konzentriertem Vorstrich sind keine negativen Effekte auf die Qualität von Fein- und Kunstdruckpapier berichtet worden. In Fabriken zur Herstellung von Magazinpapier können kleine Mengen des UF-Konzentrates ohne Nachteile für die Qualität eingesetzt werden. In einer Kartonfabrik wird die zurückgewonnene Streichfarbe für das Streichen der Rückseite wieder verwendet. Die Konzentratmenge muss konstant sein. Wichtig ist auch die Berücksichtigung von bakteriellen und hygienischen Aspekten. Die Lebensdauer der Membrane kann mehr als ein Jahr betragen. Die übliche Waschhäufigkeit beträgt ein Mal pro Woche, wobei ein flüssiger Abfall in einer Menge von ca. 2 - 5 m^3 anfällt. Gute Ergebnisse sind z.B. mit Polymermembranen erzielt worden, die nach dem Cross-Flow-Prinzip betrieben werden (CR-Filter).

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Eine kleine Ultrafiltrationsanlage kann 2000 l/h Abwasser mit 2 % Feststoffgehalt behandeln. Ein solches System ist für eine Fabrik machbar, die täglich 10 - 50 Tonnen Streichfarbe einsetzt. Für diese Größe belaufen sich die Investitionskosten auf 0,2 – 0,3 Mio. EUR. Durch das Recycling der Streichfarbenkomponenten können bemerkenswerte Einsparungen (Deponiekosten, Einsparung von teuren Streichfarben) erreicht werden. In einigen Fällen kann der Wert der zurückgewonnen Stoffe und die eingesparten Deponiekosten zu einer Amortisationszeit von ca. 1 - 2 Jahren führen. Es wurde folgendes weitere Beispiel berichtet: Die Investitionskosten für ein Verfahren, das in der Lage ist, 200 - 400 m^3/d Streichabwasser zu behandeln, betragen ca. 0,5 – 1,5 Mio. EUR. Die üblichen Betriebskosten liegen bei 0,1 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Diese Techniken werden zur Begrenzung der abgeleiteten Frachten an abfiltrierbaren Stoffen und zur Verbesserung des Betriebes der externen Abwasserbehandlung benötigt. Im Vergleich zu Abschnitt 6.3.6. wird es als die zu bevorzugende Möglichkeit angesehen. Der ausschlaggebende Faktor für die Einführung der Ultrafiltration ist die Reduktion der Deponiekosten und die Rohstoffeinsparungen, insbesondere der der teuren Streichfarben. Deshalb ist es für die Anwendbarkeit dieser Technik entscheidend, dass die zurückgewonnenen Streichfarben wieder verwendet werden können.

Anlagenbeispiele: Blendecques Kartonfabrik, Frankreich; Assi Frövifors Kartonfabrik, Schweden; Cascades Djupafors Kartonfabrik, Schweden; Hansol Taejon Kartonfabrik, Südkorea; Yuen Foong Yu Feinpapierfabrik, Taiwan; Metsä-Serla Kirkniemi, LWC/MWC/Feinpapierfabrik, Finnland; Metsä-Serla Äänekoski, Kunstdruckpapierfabrik, Finnland; Enso Fine papers, Oulu, Finnland; APP Pindo Deli, Feinpapierfabrik,

Indonesien; MD Papier Plattling, LWC Papierfabrik, Deutschland; SCA Feinpapier Stockstadt, Deutschland; Zhuhai S.E.Z Hongta Renheng Kartonfabrik, China.

Literatur:
[Roitto, 1997], [Nygard, 1997]

6.3.6 Separate Vorbehandlung der Streichereiabwässer

Diese Maßnahme kann alternativ zu der unter 6.3.5 beschriebenen BVT eingesetzt werden. Die Membrantechnologie sollte erste Wahl sein, da sie die Möglichkeit der Wiederverwendung der Streichfarbenkomponenten bietet.

Beschreibung der Technik: Die Streichfarbenkomponenten beinhalten mehrere Gruppen und Arten, von denen die Pigmente und Bindemittel die zwei wichtigsten Bestandteile darstellen.

Die Streichfarbenabwässer können in zwei Hauptabwasserarten eingeteilt werden:

- Unverdünnte überschüssige Streichfarbenmenge (mit ca. 50 -70 % Feststoffgehalt) aus der Streichfarbenaufbereitungsanlage und der Streichmaschine. Im Falle von Produktwechseln und während Betriebsstillständen muss das System gewaschen werden (Disperger, Bütten, Pumpen, Rohrleitungen und Streichmaschine). Weiterhin können manchmal nicht alle Streichfarben vollständig eingesetzt werden und der Rest wird ebenfalls ausgewaschen. Das konzentrierte Abwasser kann in Tanks oder mobilen Containern zur Abfallentsorgung entsorgt werden.
- Verdünnte Streichkomponenten im Wasser aus der Wäsche von Tanks etc.
  Der Feststoffgehalt der verdünnten Abwässer beträgt üblicherweise 2 - 4 %. Wenn sie zur Behandlungsanlage abgeleitet werden, müssen plötzlich hohe organische Belastungen in der Behandlungsanlage (CSB-Werte > 10000 mg O_2/l bis zu 100000 mg O_2/l) bewältigt werden. Die verdünnten Leckagen werden in Tanks gesammelt und vor ihrer Ableitung zur externen Abwasserbehandlungsanlage vorbehandelt.

Wenn diese Abwässer vor der biologischen Behandlung nicht vorbehandelt werden, können sie auf die Abwasserbehandlungsanlage durch Verursachung von Schwierigkeiten in der primären Klärung und in der biologischen Stufe nachteilige Auswirkungen hervorrufen.

Eine übliche Vorbehandlung sieht wie folgt aus:

Die Abwässer werden in einem Ausgleichsbehälter gesammelt. Die Abwässer werden mit einem Stufensieb gesiebt und zu einer chemischen Fällung gepumpt. Die Chemikalien werden einem Schnellmischer zugeführt. Aluminiumsulfat und Polyaluminiumchlorid werden als Fällchemikalien eingesetzt. Polyelektrolyte werden als Flockungshilfsmittel eingesetzt und dem Flockungsbehälter zudosiert. Das geflockte Abwasser fließt über einen Lamellenschrägklärer, in dem die suspendierten Feststoffe zum Boden sedimentieren und der klare Überlauf in den Abwasserkanal zur weiteren Behandlung abgeleitet wird. Der Schlamm vom Boden der Sedimentation wird in einem Schlammtank gesammelt und von dort zu einer Zentrifuge zur Entwässerung gepumpt. Der entwässerte Schlamm mit einer Feststoffkonzentration von 30 - 40 % wird zu einer Deponie verbracht.

Bei einer Fabrik werden jedoch die gefällten Streichfarben mittels Zentrifugation entwässert und als Streichfarbe für den Vorstrich wieder verwendet. Diese Variante bedarf einer Menge Entwicklungsarbeit.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Vorbehandlung der Streichereiabwässer kann sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Fabriken angewendet werden. In bestehenden Fabriken sind jedoch die Einrichtung der Abwassererfassung und die zu verändernden Ableitungsverhältnisse komplizierter und teurer. Bei neuen Anlagen wird vermutlich der Ultrafiltration des Streichabwassers der Vorzug gegeben, da sie eine relativ kurze Amortisationszeit bietet.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der wichtigste erreichte Umweltnutzen liegt in den Vorteilen beim Betrieb, besonders der Abwasserbehandlungsanlage. Die zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitete Fracht an abfiltrierbaren Stoffen wird reduziert und auch betriebsstörungsbedingte Leckagen (plötzliche Frachten an abfiltrierbaren Stoffen), die zur Abwasserbehandlungsanlage abgeleitet werden, können weitgehend minimiert werden. Die Störungen der primären Klärung können reduziert werden, da weniger plötzliche Beeinträchtigungen bei der Sedimentation der abfiltrierbaren Stoffe oder eine Erhöhung des Drehmoments des Antriebsmechanismus für das Klärbecken auftreten. Das Risiko der Klärbeckenüberlastung wird auch reduziert. Die Störungen des biologischen Systems werden vermindert, da die inerten Stoffe (z.B. Pigmentpartikel) im Streichabwasser nicht in die aktive Biomasse des biologischen Behandlungsverfahrens verschleppt und dort angereichert werden. Auf diese Weise wird die Umweltbelastung reduziert. Das Klarfiltrat aus der Streichfarbenabwasserbehandlung kann sonstwo in der Papierfabrik wieder verwendet werden, z.B. zur Verdünnung von gestrichenem und ungestrichenem Ausschuss. Allerdings wird nur die Belastung der Abwasserströme vermindert und die Schmutzfracht, die als Abfall übrig bleibt, aufkonzentriert. Deshalb wird die in Abschnitt 6.3.5 dargestellte Technik als zu bevorzugende Variante angesehen.

Emissionsmessungen: Die Messungen werden in einem separaten Kapitel dargestellt.

Verlagerungseffekte: Die Abtrennung der Streichfarbenkomponenten von der biologischen Abwasserbehandlung kann einen positiven Effekt auf die weitere Behandlung des biologischen Schlammes haben. Die Verbrennung des Schlammes aus der zentralen Abwasserbehandlungs-anlage der Fabrik ist einfacher, da eine Vorbehandlung der Streichabwässer den Aschegehalt der größten Schlammmenge reduziert. Allerdings fällt im Vergleich zur Ultrafiltration der Streichfarben (siehe 6.3.5) noch Abfall an, da die Erfahrung mit dem Recycling der gefällten Streichfarben noch sehr begrenzt ist. Die Flockung führt zu einem bestimmten Anstieg der Salzbelastung im Abwasser.

Betriebserfahrungen: Das Verfahren ist seit vielen Jahren in Papierfabriken quer durch Europa im Einsatz. Allerdings sind Schwierigkeiten bei der Entwässerung des anfallenden Schlammes festgestellt worden. Wenn die Entwässerungseinrichtungen nicht sorgfältig ausgewählt werden, können Verschleißprobleme auftreten.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer Produktion von ungefähr 1000 t Papier/d betragen die Investitionskosten für eine separate Streichabwasserbehandlung mittels Flockung ungefähr 1,2 – 1,4 Mio. EUR. Die jährlichen Betriebskosten belaufen sich ohne die Deponiekosten auf 75000 - 150000 EUR/a. Da der Wert der Chemikalien bei einer Deponierung verloren geht, besteht keine Möglichkeit für eine Amortisation.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Der wichtigste Grund für die Umsetzung dieser Maßnahmen sind die Schwierigkeiten in der externen Abwasserbehandlungsanlage, wenn diese Vorbehandlung nicht angewendet wird. Der hohe Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Streichabwasser kann zu Betriebsproblemen bei der primären Klärung und bei der biologischen Behandlung führen und kann in Problemen bei der Schlammverbrennung münden.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Westeuropa (Deutschland, Österreich, Frankreich, Schweden und Finnland).

Literatur:
[CEPI, 1998 b]

6.3.7 Maßnahmen zur Senkung der Häufigkeit und der Auswirkungen von unbeabsichtigten Einleitungen

Beschreibung der Technik: In einer Papier- und Kartonmaschine besteht das Ziel, einen langen ununterbrochenen Lauf der Papierbahn durch die Maschine zum Erhalt des Endproduktes aufrecht zu erhalten. Schwankungen beim Maschinenbetrieb oder der Halbstoffqualität im Laufe des Betriebs sind möglich und werden bis zu einer Grenze unter Kontrolle gehalten, führen aber im schlimmsten Fall zu Bahnabrissen und Produktionsverlust. Zudem bedürfen die Maschinen Wartungsarbeiten, von denen viele nicht bei laufender Maschine durchgeführt werden können, was zu mehr kurzen Betriebsstillständen und Anfahrvorgängen führt.

Wenn die Maschine eine Vielzahl von Papiersorten herstellt, ist die Sache mit den Betriebsstillständen beim Wechsel von einer Papiersorte zur anderen noch komplizierter.

Die unbeabsichtigten Einleitungen treten üblicherweise aus folgenden Gründen auf:

- Betriebsstörungen der Papiermaschine.
- Unplanmäßige Abfahr- und Anfahrvorgänge für die Wartung.
- Schlechte Bewirtschaftung der Kreislaufwassertanks oder der Maschinenbütten für den Ausschuss in der Nasspartie oder der Bütten für den Ausschuss in der Trockenpartie oder Streichen außerhalb der Papiermaschine.

Durch die verbesserte Automation der Papiermaschine wird die on-line-Überwachung der Papierbahn und der Maschinenparameter schnell und genauer. Die Ableitung vom Stoffauflauf, die Geschwindigkeit der Maschinenrollen, die Regelantriebe und die für die Trocknung eingesetzte Dampfmenge können besser ausgeglichen und entsprechende Anforderungen optimiert werden. Als Ergebnis ergibt sich eine bessere Papierqualität, und wenn die Kontrollen in geeigneter Weise eingebaut und die einzelnen Teile miteinander verbunden sind, kann auch die Anzahl der Unterbrechungen beim Maschinenbetrieb zurückgehen. Auf der anderen Seite müssen bei der Herstellung von hochwertigen Papiersorten die Mahl- und Sortiervorgänge höheren Anforderungen genügen, da für die Papierbahn geringere Qualitätsschwankungen zugelassen sind.

Der wichtigste Punkt, die unbeabsichtigten Einleitungen auf einem Minimum zu halten, ist die geeignete Bemessung der Bütten für das Kreislaufwasser und für den Ausschuss. Als Faustregel sollten die Bütten für den Ausschuss ein ausreichendes Volumen zur Speicherung des Halbstoffes für mindestens drei Produktionsstunden aufweisen. Andernfalls besteht die verstärkte Möglichkeit, dass beträchtliche Wasser- und Feststoffableitungen in die Kanalisation auftreten. Die Speicherkapazität für das Kreislaufwasser muss mit dieser Speicherung des Ausschusses zusammenpassen, sodass bei Bahnabrissen oder bei der Rückführung vom Ausschuss zur Maschine kein Frischwasser benötigt wird. Bei Papiermaschinen zur Herstellung von gestrichenen Papiersorten muss die Rückführung vom Ausschuss, der von der Streichmaschine innerhalb oder außerhalb der Papiermaschine gesammelt wird, sorgfältig kontrolliert werden. Der Grund dafür liegt darin, dass der Anteil an gestrichenem Ausschuss unter einer fallspezifischen Grenze liegen muss, damit eine geeignete Mischung aus frischem Halbstoff und verschiedenen Ausschussfraktionen zubereitet werden kann und so Probleme in der Nasspartie der Papiermaschine vermieden werden können. Das Speichervolumen für gestrichenen Ausschuss muss dieser Anforderung gerecht werden.

Die Überwachung des Niveaus im Kreislaufwassertank entsprechend dem Ausschussbestand, dem Halbstoffbestand und dem Produktionsplan muss zur Vermeidung von Leckagen durchgeführt werden.

In Fabriken mit häufigem Wechsel der Papiersorte ist die Tankkontrolle schwieriger, da die Bestände oft niedrig gehalten werden, um Verluste aus den Reinigungsvorgängen bei Sortenwechseln zu minimieren. Aus diesem Grund müssen auch die Charakteristiken des Beschickungsgutes zur Maschine sorgfältiger kontrolliert werden, sodass die Ausschussmenge auf niedrigem Niveau verbleibt. In Fabriken mit vielen Papiermaschinen können diese Verluste reduziert werden, wenn eine andere Maschine dieses Material verwenden kann.

Zum Schutz der Abwasserbehandlungsanlage und gleichzeitig der Umwelt kann die Errichtung eines Ausgleichsbeckens (Rückhaltebeckens) in Betracht gezogen werden. Im Falle von unbeabsichtigten Leckagen kann das Abwasser diesem Becken zugeleitet werden. Von dort kann es der Abwasserbehandlungsanlage in kontrollierter Art und Weise zugeführt werden.

- Maßnahmen zur Vermeidung von unbeabsichtigten Einleitungen im Zuge des Umgangs und der Speicherung von Chemikalien sind nachfolgend beschrieben:
- Konzeption und Betrieb der Einrichtungen in solcher Weise, dass gefährliche Stoffe nicht entweichen können.
- Schnelle und verlässliche Feststellung von Leckagen aus allen Teilen der Anlage, die in Kontakt mit gefährlichen Stoffen kommen. Es ist Vorsorge zu treffen, dass Leckagen nicht entweichen und in geeigneter Weise entsorgt werden können. Soweit sie nicht doppelwandig und mit einer Leckanzeige versehen sind, sollten die technischen Einrichtungen mit einem Erfassungssystem oder –einrichtung ausgerüstet sein, das dicht und dauerhaft ist. Sammelkammern sollten keine Ableitungsöffnungen aufweisen.

- Es werden Betriebsanweisungen, die Aspekte der Überwachung und Unterhaltung beinhalten, sowie Alarmpläne entwickelt und überwacht.
- Die Abwasserbehandlung ist der kritischste Punkt bei unbeabsichtigten Einleitungen. Eine leistungsfähige Behandlungsanlage und eine gute Kommunikation zwischen den Beschäftigten der Produktionsanlagen und der Abwasserbehandlung sind eine Voraussetzung. Letztere können im Falle einer unbeabsichtigten Leckage geeignete Maßnahmen zum Schutz der Behandlungsanlage ergreifen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die Kontrolle von unbeabsichtigten Einleitungen ist von grundlegender Wichtigkeit beim Betrieb der Papiermaschine und kann in bestehenden und in neuen Fabriken eingesetzt werden. Allerdings können in bestehenden alten Fabriken Probleme auftreten, wenn sie nicht genug Platz für die Vergrößerung der Wasser- oder Halbstoffspeicherkapazität haben.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Diese Maßnahmen reduzieren die Häufigkeit der von der Papiermaschine herrührenden Belastungsspitzen für die Wassermenge und für die Feststoffe.

Emissionsmessungen: Es wird die on-line-Überwachung der in die Kanalisation abgeleiteten Abwassermenge und die labormäßige Bestimmung der abfiltrierbaren und gelösten Stoffe, des pH-Wertes, der Temperatur und des Gehaltes an organischen Stoffen als BSB_5 oder CSB im kanalisierten Abwasser und gelegentlich von einigen rückgeführten Strömen empfohlen. Auch die on-line-Messung von abfiltrierbaren Stoffen oder Trübungsmesser können eingesetzt werden.

Verlagerungseffekte: Die Entwicklung eines effizienten Kreislaufwasser- und Halbstoff-büttenmanagements führt zu Verbesserungen beim wirtschaftlichen Betrieb und zur Reduktion der Anzahl von unbeabsichtigten Einleitungen. Es gibt keine weiteren wesentlichen Verlagerungseffekte.

Betriebserfahrungen: Ein erhöhtes Automatisationsniveau hat sich zur Erhöhung der Kontrolle von unbeabsichtigten Einleitungen als wirksam erwiesen, obwohl der Hauptgrund für seine Einführung normalerweise die Verbesserung des wirtschaftlichen Betriebes der Maschine und in den meisten Fällen die Kapazitätserhöhung ist. Die statische und mittlerweile dynamische Modellierung hat in vielen Fabriken zu einem verbesserten Verständnis hinsichtlich der fortschrittlichen Kontrolle des Maschinenbetriebes geführt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für einen zusätzlichen Kreislaufwassertank mit einem Volumen von 3000 m^3 und einem Tank für ungestrichenen Ausschuss mit einem Volumen von 2000 m^3 würden ungefähr 1,0 – 1,2 Mio. EUR betragen. Wenn ein zweiter Tank für gestrichenen Ausschuss benötigt würde, würde dies mit den erforderlichen Hilfseinrichtungen, Rohrleitungen und elektrischen Einrichtungen ca. 0,4 – 0,5 Mio. EUR kosten. Diese Investitionskosten gelten für eine Papierproduktion von 1000 t/d.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Zunächst dient diese Maßnahme zur Vermeidung von störungsbedingten Ableitungen aus der Papiermaschine in die Fabrikkanalisation und zur Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Fracht zur externen Abwasserbehandlung. Weiterhin verbessert die Prozessautomation in Verbindung mit einer anspruchsvollen Bestandserfassung für das Kreislaufwasser, den Halbstoff und den Ausschuss den wirtschaftlichen Betrieb der Maschine.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa.

6.3.8 Messtechnik und Automation

Beschreibung der Technik: Für eine effektive Papierherstellung sind einer stabiler Betrieb und eine gleichmäßige Qualität wichtig. Diese Eigenschaften sind für eine umweltgerechte Produktion essenziell. Nichtstabile Verhältnisse in der Stoffaufbereitung und im Bereich der Nasspartie verursachen Papierabrisse und damit Störungen in den Wassersystemen. Die on-line-Messungen und die genaue Prozesskontrolle sind deshalb für eine effektive Papierherstellung wesentlich. Die wichtigsten Bereiche, in denen die Messung und die Automation sowohl die Qualität und Produktivität als auch die Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz erhöhen, sind nachfolgend genannt.

- *Betrieb der Stofffänger*: Die Messung der abfiltrierbaren Stoffe oder der Trübung sind wichtig zur Feststellung von Spitzenbelastungen, wenn das Ziel besteht, soviel Filtrat wie möglich als Spritzrohrwasser einzusetzen. Auf diese Weise werden unnötige Faserverluste vermieden und die Belastung der Abwasserbehandlung vermindert. Die Bestimmung der Stoffdichte des Beschickungsgutes und dessen Kontrolle erleichtern die Optimierung des Filterbetriebes.
- *Mischung*: Bei der Dickstoffproportionierung und –mischung werden die Schwankungen in der Stoffdichte und der Halbstoffqualität (z.B. Mahlgrad, Faserlänge, Aschegehalt) zur Vermeidung von Qualitätsschwankungen in der Papiermaschine stabilisiert.
- *Mahlen*: Die Kontrollstrategie für das Mahlen erfordert mindestens eine genaue Bestimmung des Durchflussvolumens und der Stoffdichte. Für eine optimale Kontrolle der Mahlung ist die Bestimmung der Halbstoffqualität, wie der Mahlgrad, Entwässerbarkeit und die Faserlänge erforderlich.
- *Nasspartie-Management*: Die Information des Gehaltes an Feststoffen und Füllstoffen im Stoffauflauf und im Kreislaufwasser liefert einen frühen Hinweis auf potenzielle Probleme bezüglich der chemischen Verhältnisse in der Nasspartie. Die automatische Retentionsmittelkontrolle mit dem Ziel der Rückhaltung von gleichmäßigen Mengen an Feinstoffen und Füllstoffen in der Papierbahn basiert auf der on-line-Messung des Faser- und Füllstoffgehaltes im kurzen Kreislauf. Der Einsatz der Stoffdichtekontrolle im Kreislaufwasser hat die Stabilität des Betriebes in der Nasspartie drastisch erhöht und die Anzahl von Bahnabrissen in der Nasspartie reduziert. Zusätzlich zu der Schwankung der Stoffdichte im kurzen Kreislauf stellen die Schwankungen der gelösten und kolloidalen Stoffe im Zulauf eine Hauptursache für Probleme hinsichtlich des wirtschaftlichen Betriebs und der Optimierung der Papiermaschine dar. Der Bedarf an kationischen Stoffen wird anhand des Kreislaufwassers bestimmt und zur Kontrolle schädlicher Substanzen benutzt. Während die Retentionskontrolle durch Kontrolle der Flockung erfolgt, wird die Ladungskontrolle durch Kontrolle der Koagulation stabilisiert.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Die vorgenannten Messungen und Kontrollen können sowohl in kleinen als auch in großen Fabriken eingesetzt werden. Der größte Vorteil kann bei der Herstellung von hochqualitativen Endprodukten erzielt werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Quantifizierung des erreichten Umweltnutzens ist schwierig, da dieser von der Charakteristik der Anlage, dem Grad der Produktivität vor der Verbesserung, der hergestellten Papiersorte bzw. den Papiersorten etc. abhängt. Das Wassermanagement ist einfacher durchzuführen und die zur Abwasserbehandlung abgeleitete Schmutzfracht sowie der Materialverlust (Abfall) werden reduziert.

Verlagerungseffekte: Es sind keine negativen Verlagerungseffekte bekannt. Die Erhöhung der Produktivität und der Rückgang der Bahnabrisse oder der Verluste haben durch den Einsatz von besserer Prozesskontrolle und –automatisation nur positive Auswirkungen auf die Umwelt. Das Resultat dieser Maßnahmen sind weniger Störungen im Wassersystem, ein geringerer Energieverbrauch und ein geringerer Abfallanfall.

Betriebserfahrungen: Messungen und die Automation sind in vielen bestehenden Fabriken zur Erhöhung der Effizienz ohne Probleme im Einsatz und sind in neuen Fabriken selbstverständlicher Teil und weiterentwickelt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus ist es das Ziel, die Rentabilität der Papierherstellung zu erhöhen. Die Elimination einer siebenminütigen Unterbrechung pro Woche führt zu einer 0,5 % höheren Betriebszeit, was bei einer Fabrik mit einer Produktion von 300 t/d zu einer Mehrproduktion von 1,5 t/d führt. Wenn die Nettokosten für den Produktionsverlust 500 US$/t betragen, würden sich wegen der besseren Stabilität Einsparungen von über 260000 US$/a ergeben. Zusätzlich wird während der Produktionsunterbrechung Energie verschwendet, z.B. in Trocknerzylindern und für Pumpvorgänge.

Eine hohe und gleichmäßige Retention bedeutet auch Einsparungen in der Abwasserbehandlungsanlage. Die Abwasserbehandlungsanlage braucht wegen der Spitzen-belastungen nicht überdimensioniert sein, wenn die Abwasserbelastung wegen der kontrollierten Retention gleichmäßiger ist.

Diesen Einsparungen sind die Investitions- und Betriebskosten für die technischen Einrichtungen gegenzurechnen. Die Amortisationszeit von eingeführten Messungen und Kontrollen liegt üblicherweise unter einem Jahr. Nach geeignetem Training können die Fabrikarbeiter diese technischen Einrichtungen bedienen.

Soweit erforderlich, können die Elektriker und Mess- und Regeltechniker der Fabrik die notwendigen Wartungsarbeiten durchführen.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Messtechnik und die Automatisierung werden in erster Linie aus wirtschaftlichen Gründen und zur Erreichung einer höheren Papierqualität eingesetzt. Es führt zu Zeitersparnis in der Papierproduktion (z.B. ermöglicht es schnellere Papiersortenwechsel, schnellere Anfahrvorgänge, schnellere Rückgewinnung nach einem Bahnabriss), zu niedrigeren Produktionskosten (z.B. durch Optimierung der Bestandteile des Stoffrezeptes, effektiver Einsatz der Additive, reduzierter Energieverbrauch) und zu maximaler Papierqualität (z.B. über geringere Variation der Querrichtung/Maschinenrichtung, optimierte Entwässerung, Blattbildung etc.). Für eine vorhandene Maschine wird die optimale Entwässerung durch eine geeignete Stoffaufbereitung und Management der Nasspartie (z.B. Refinerkontrolle und Kontrolle der Chemikalien) erreicht. Weiterhin ist es einfacher, einen größeren Bereich von Papiersorten herzustellen.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa

Literatur:
[Nokelainen, 1995], [Nokelainen, 1997]

6.3.9 Einbau eines Ausgleichsbeckens und primäre Abwasserbehandlung

Beschreibung der Technik: Für die meisten Papierfabriken wird diese Maßnahme nicht als alleinige Technik angesehen, sondern als eine Vorbehandlung. Die Vorbehandlung wird normalerweise vor der biologischen Behandlung durchgeführt, um den Behandlungsprozess zu erleichtern und zu verbessern. In einigen speziellen Fällen, in denen die organische Belastung für eine effiziente biologische Behandlung zu niedrig ist, kann diese Technik die einzige Abwasserbehandlung darstellen.

Die folgenden Verfahren sind die wichtigsten:

- Die Grobsiebung wird zur Entfernung größerer Gegenstände und von Sand, die die nachfolgenden technischen Einrichtungen beschädigen können, durchgeführt.
- Der Mengenausgleich und die Leckagenerfassung können für Abwässer mit großen Schwankungen hinsichtlich Menge und Gehalt an Verunreinigungen erforderlich sein. Solche Schwankungen können die Funktionsweise der nachfolgenden Behandlungs-prozesse, insbesondere des biologischen Behandlungsprozesses stören. Für die Aufenthaltszeit im Ausgleichsbecken kann ein Wert von vier Stunden als Richtschnur für die geeignete Dimensionierung dienen. Allerdings hängt die geeignete Aufenthaltszeit des Ausgleichsbeckens von der wechselnden Zusammensetzung der Abwasserqualität ab.
- Die primäre oder mechanische Behandlung unter Ausnutzung der Schwerkräfte wird zur Entfernung von abfiltrierbaren Stoffen, wie Fasern, Rindenpartikeln und anorganischen Partikeln (Füllstoffe, Kalkpartikel etc.) durchgeführt. Eine bestimmte Mindestgröße der Partikel ist dafür notwendig. Die feinen Partikel setzen sich unter den Bedingungen der praktischen Anwendung zu langsam ab oder es setzen sich nicht alle ab. Die Sedimentation ist die erste Art von Behandlung, die in einer Zellstoff- oder Papierfabrik eingesetzt wird oder als Vorbehandlung z.B. für ein biologisches Verfahren vorgeschaltet ist. Die Flotation kann auch für die primäre Klärung eingesetzt werden. Einige kleinere Fabriken setzen die primäre Behandlung mittels Filtration als einzige Abwasserbehandlung ein.

Die Partikel setzen sich auf dem Boden des Vorklärbeckens ab und bilden einen Schlamm, der entfernt werden muss. Dies wird mittels Pumpen und in Rundklärbecken in Kombination mit Bodenräumern bewerkstelligt. Der Schlamm weist normalerweise einen niedrigen Feststoffgehalt auf, ungefähr 1 – 2 % Trockensubstanz. Er muss vor der abschließenden Entsorgung entwässert werden. In einigen Fabriken wird der Schlamm aus dem Vorklärbecken im Produktionsprozess wieder verwendet, soweit dafür die Schlammeigenschaften geeignet sind.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine end-of-pipe-Technik. Das Verfahren kann sowohl in bestehenden als auch in neuen Papierfabriken eingesetzt werden. Einige Maßnahmen

zur Reduktion des Wasserverbrauchs sollten vorzugsweise durchgeführt werden, um die hydraulische Belastung und damit die Investitionskosten für die Klärbecken zu reduzieren.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Das Ergebnis der Primärbehandlung hängt von den Abwassereigenschaften ab, aber auch vom Grad der internen Faserrückgewinnung in der Zellstoff- oder Papierfabrik. Die Entfernungsrate für die abfiltrierbaren Stoffe kann zwischen 60 - 90 % liegen. Für die absetzbaren Stoffe ist die Reinigungsleistung normalerweise höher und liegt bei ca. 90 – 95 %.
Der Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen nach der primären Sedimentation dürfte im Bereich von 30 - 200 mg/l liegen.

Emissionsmessungen: Die Emissionsmessungen werden in einem separaten Kapitel dargestellt.

Verlagerungseffekte: In der Abwasserbehandlungsanlage fällt Schlamm an, der nach der Entwässerung weiterbehandelt werden muss. Für die weitere Behandlung dieses Schlammes gibt es viele unterschiedliche Verfahren, die zu einem gewissen Grad standortspezifisch sind (siehe Abschnitt 6.3.14). Ein Verfahren ist die Verbrennung, die in einigen Fällen einen Nettowärmeüberschuss liefert.

Betriebserfahrungen: Vorklärbecken nach dem Schwerkraftprinzip sind seit vielen Jahren in allen Arten von Papier- und Kartonfabriken mit guten Ergebnissen im Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine integrierte Papierfabrik mit einer Produktion von 1000 t/d Papier betragen die Investitionskosten für die primäre Behandlung, bestehend aus Pumpwerk, Vorklärbecken, Schlammentwässerung und Chemikaliendosiersystemen, 3,5 – 4,5 Mio. EUR. Die Betriebskosten hängen stark vom benötigten Chemikalienverbrauch (wenn überhaupt notwendig) ab und liegen bei 0,4 – 0,6 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Primärbehandlung wird zur Reduzierung der ins Gewässer eingeleiteten oder der biologischen Behandlung zugeführten Fracht an abfiltrierbaren Stoffen eingesetzt.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Papierfabriken in Europa für alle Abwasserarten.

6.3.10 Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung – aerobe Verfahren

Beschreibung der Technik: Für die sekundäre Abwasserbehandlung bestehen die Alternativen zwischen dem Einsatz von aeroben und anaeroben/aeroben biologischen Systemen. Allerdings ist die anaerobe Behandlung auf Abwasser begrenzt, das hohe Gehalte an biologisch abbaubaren Stoffen (als Faustregel: CSB ≥ 2000 mg O_2/l) aufweist, um eine Methanisierung möglich zu machen. Sie wird deshalb hauptsächlich bei Altpapier verarbeitenden Fabriken (siehe Abschnitt 5.3.5), besonders in Papierfabriken zur Herstellung von Wellenpapier oder Karton, angewendet.

Es gibt eine Vielzahl von Konzeptionen für die aerobe Behandlung von Papierabwässer. Es sind Belebtschlammsysteme, aerobe getauchte Biofilter, Tropfkörper als eine oder mehrere Stufen oder in Kombination miteinander, Sequencing Batch-Reaktoren und Scheibentropfkörper im Einsatz.

Die wichtigsten Technologien für die externe biologische Behandlung von Papierabwasser und der Konzentrationsbereich für ihre geeignete Anwendung sind in Abbildung 6.14 wiedergegeben.

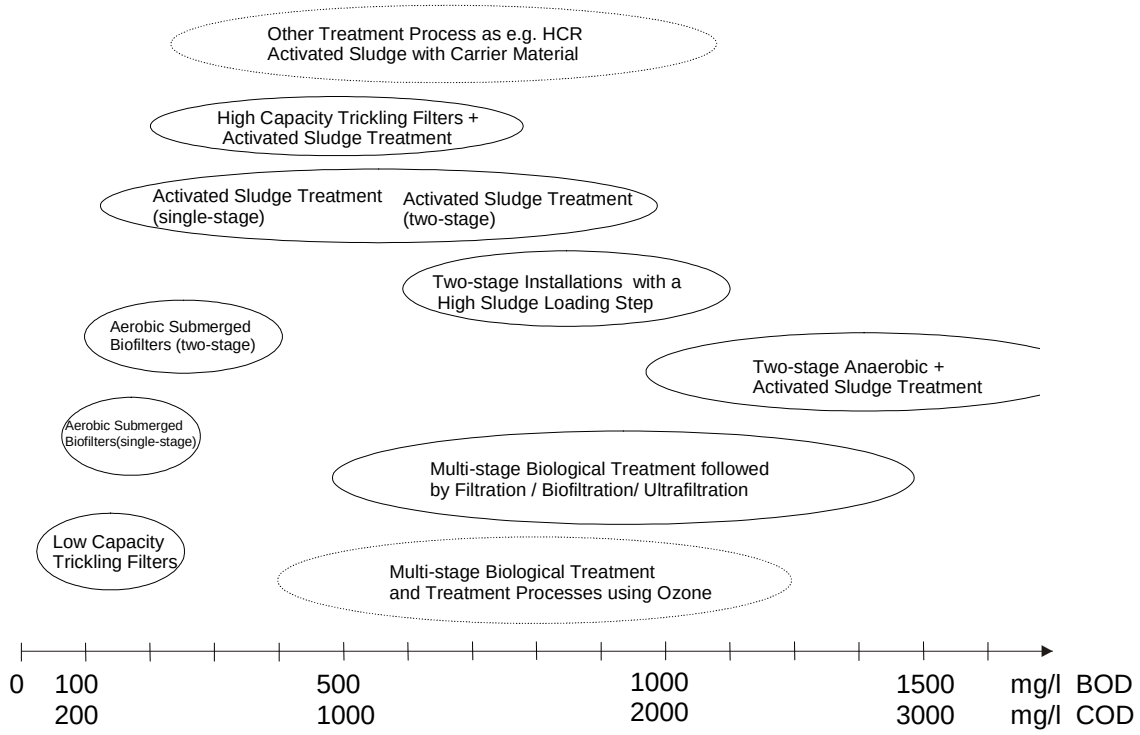


Abbildung 6.14: Die wichtigsten Verfahren für die externe Behandlung von Papierabwasser und die geeigneten Anwendungsbereiche
Die Konzentrationswerte gelten für die Zulaufkonzentrationen, [nach Demel bei der PTS, 1998]; die gepunkteten Bereiche repräsentieren modernere Behandlungstechniken mit weniger Anwendungsfällen in Europa. Die Ozonbehandlung wird noch als eine in der Entwicklung befindliche Technik angesehen (siehe 5.5.1). Ein zweistufiges Belebtschlammsystem besteht aus zwei getrennten Belüftungsbecken mit zwei getrennten Überschussschlamm-Rückführungssystemen.
Activated Sludge Treatment (single-stage/two-stage) = Belebtschlammbehandlung (einstufig/zweistufig);
Aerobic Submerged Biofilters (single-stage/two-stage) = Aerobe getauchte Biofilter (einstufig/ zweistufig);
High Capacity Trickling Filter + Activated Sludge Treatment = Hochlast-Tropfkörper + Belebtschlamm-behandlung;
Low Capacity Trickling Filter = Schwachlast-Tropfkörper;
Multi-stage Biological Treatment and Treatment Processes using Ozone = Mehrstufige biologische Behandlung und Behandlungsverfahren mit Einsatz von Ozon;
Multi-stage Biological Treatment followed by Filtration / Biofiltration / Ultrafiltration = Mehrstufige biologische Behandlung mit anschließender Filtration / Biofiltration / Ultrafiltration;
Other Treatment Processes as e.g. HCR (High Performance Compact Reactor), Activated Sludge with Carrier Material = Andere Behandlungsverfahren, wie z.B. der Hochleistungskompaktreaktor (HCR), Belebtschlamm mit Trägermaterial;
Two-stage Anaerobic + Activated Sludge Treatment = zweistufige anaerobe und Belebtschlamm-behandlung;
Two-stage Installations with High Sludge Loading Step = zweistufige Anlagen mit Hochlaststufe

Es ist ein vorteilhaftes grundsätzliches Prinzip, einen hydraulischen Puffer vorzusehen, um die Behandlungsanlage vor großen Schwankungen (Spitzenbelastungen) bezüglich Menge oder organischer Belastung zu schützen, da die Schwankungen ansonsten zeitweise eine schlechte Reinigungsleistung der Anlage bedingen. Die Pufferung ermöglicht die Anlagengröße derart zu optimieren, dass sie für die mittlere Abwassermenge ausgelegt werden kann.

Tabelle 6.22 bietet einen Überblick über die wichtigsten biologischen Behandlungssysteme, ihren Anwendungsbereich, ihre Vor- und Nachteile sowie einige zusätzliche Bemerkungen.

Verfahren	Anwendung (BSB-Zulauf-konzentration) [mg O_2/l]	Vorteil	Nachteil	Bemerkungen
Aerobe getauchte Biofilter (einstufig)	20 - 100	Sicheres Verfahren; immobilisierte Biomasse; niedrige Konzentration an abf. St. im Abwasser	Empfindlich gegen höhere Konzentra-tionen an abf. St. im Abwasser	
Aerobe getauchte Biofilter (zweistufig)	100 - 300 (oder höher)			
Schwachlast-Tropfkörper	< 100	Einfache Konstruktion; niedriger Energiever-brauch; Kühlung des Abwassers	In einigen Fällen be-steht die Gefahr der Verstopfung; Geruch wegen der Strippung	
Hochlast-Tropfkörper + Belebtschlamm	200 - 800			
Belebtschlamm (einstufig)	100 - 1000	Herkömmliches Verfah-ren mit einer Reihe von Varianten; es liegt viel Erfahrung vor	Energiebedarf; Über-schussschlamm; Pro-bleme mit Bläh- und Schwimmschlamm	
Belebtschlamm (zweistufig)				Die Trennung der Schlamm-kreisläufe ist wichtig
Belebtschlamm (zweistu-fig mit Hochlaststufe)	600 - 1200	Verbesserte Eigenschaf-ten des Belebtschlamms	Energiebedarf; Über-schussschlamm	
Fließbett-Biofilmreaktor (immobilisierte Biomasse auf einem mobilen Trägermaterial)	300 -1500	Fixierte Biomasse; klei-nere Reaktorvolumina; kein Rücklaufschlamm; wenig empfindlich ge-genüber Belastungsspit.	Überschussschlamm	z.B. Kaldness-Verfahren; erlaubt hohe Raumbelastung
Scheibentropfkörper: immobilisierte Biofilm-systeme/ Bioscheiben	Einsatz für die Blähschlamm-bekämpfung oder für die weiterge-hende Behandlg.	Kostengünstig für klei-nere Fabriken, niedriger Energiebedarf (< 0,3 kWh/kg entfernt. BSB)	In vielen europäi-schen Ländern gibt es mit RBCs wenig Erfahrung	Erfolgreiche An-wendung in der Papierindustrie in den USA und in Italien
Belebtschlamm als sog. Sequencing Batch Reaktor (SBR)	100 - 1000	Flexiblerer Betrieb des Verfahrens	Höherer Aufwand hinsichtlich der Pro-zesskontrolle; dis-kontin. Verfahren	

Tabelle 6.22: Überblick über die biologische Behandlung von Papierabwasser [nach PTS, 1998, geändert durch EIPPCB]

Die biologische Behandlung kann auch mit fortschrittlichen Behandlungsverfahren wie der Ozonbehandlung oder der Membranfiltration, wenn strengere Anforderungen zu erreichen sind, kombiniert werden. In Deutschland werden 1999 zwei Systeme, die die biologische Behandlung mit der Ozonung und der Ultrafiltration kombinieren, zur weiteren Reduzierung der in das Gewässer eingeleiteten CSB-Fracht in Betrieb gehen (siehe Abschnitt 5.5.1).

Zur weiteren Information für die Abwasserbehandlung wird auf die nachfolgenden Beispiele bzw. auf die Handbücher zur Abwasserreinigung [z.B. Metcalf&Eddy, 1991] verwiesen.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine end-of-pipe-Technik. Das Verfahren kann sowohl bei bestehenden als auch bei neuen Papierfabriken angewendet werden. In einigen speziellen Fällen, bei denen die organische Belastung für eine effiziente biologische Behandlung zu niedrig ist, wie beispielsweise bei Frischfaser verarbeitenden Fabriken, kann zur Erreichung der geforderten Standards nur die primäre Behandlung zum Einsatz kommen (es wird auf Abschnitt 6.3.9 verwiesen).

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Für die biologische Behandlung von Papierabwässern können nachfolgende Reinigungsleistungen für die Schmutzfracht normalerweise leicht erreicht werden:

- Belebtschlamm: 85 - 96 % für den BSB_5; 75 - 90 % für den CSB
  Diese Reinigungsleistungen werden mit schwach belasteten Belebtschlammsystemen mit einer Schlammbelastung zwischen 0,1 und 0,2 kg BSB_5/kg TS*d erreicht. In ein paar Anwendungsfällen werden auch für hochbelastete Anlagen gute Reinigungsleistungen berichtet.
- Tropfkörper: 60 - 70 % für den BSB_5; 50 – 60 % für den CSB
- Fließbettbiofilmreaktoren/Reaktoren mit suspendiertem Trägermaterial: 85 – 95 + x% für den BSB_5; 80 – 90 % für den CSB
- Getauchte Biofilter: 60 - 80 % für den BSB_5; 50 - 60% für den CSB

Es ist anzumerken, dass die Reinigungsleistungen zu einem bestimmten Grad von der zulaufenden Schmutzfrachtkonzentration abhängen. Die Konzentrationen an organischen Stoffen im Abwasser werden aber auch durch die eingesetzten Rohstoffe, die hergestellten Papiersorten, den Frischwasserverbrauch und durch die angewendeten prozessintegrierten Maßnahmen bestimmt.

Das Abwasser aus Papierfabriken kann nach Behandlung CSB-Werte zwischen 50 - 150 mg O_2/l erreichen. Die BSB_5-Werte liegen normalerweise unter 25 mg O_2/l und es können Werte bis zu 5 mg O_2/l erreicht werden. Das CSB/BSB-Verhältnis in filtrierten Proben des Papier-abwassers nach biologischer Behandlung liegt normalerweise zwischen 4 und 7 oder 8 (bis zu 10). Die ins Gewässer eingeleitete Fracht hängt hauptsächlich von der hergestellten Papiersorte, den zu erreichenden Papiereigenschaften, dem spezifischen Frischwasserverbrauch, den eingesetzten chemischen Additiven und der Konzeption und dem Betrieb der Abwasserbehandlung ab. Eine geeignete Konzeption und Wartung der Behandlungsanlage sind eine Voraussetzung für leistungsfähige biologische Systeme.

Emissionsmessungen: Normalerweise werden die Parameter CSB, BSB_5, abfiltrierbaren Stoffe, Stickstoff, Phosphor und AOX kontrolliert. Es werden auch zusätzliche Messungen zur Kontrolle des biologischen Systems empfohlen, wie z.B. der Sauerstoffgehalt, der Schlammindex, die Abwassermenge und von Zeit zu Zeit die mikroskopische Untersuchung des Belebtschlammes. Letztere erfährt zunehmende Bedeutung.

Verlagerungseffekte: Im Laufe der aeroben Abwasserbehandlung fällt Überschussschlamm an, der eingedickt, entwässert und weiterbehandelt werden muss. Ein typischer Wert für die Überschussschlammmenge für niedrig belastete Belebtschlammanlagen liegt im Bereich von 0,3 – 0,4 kg TS/kg $BSB_{5eliminiert}$. Manchmal werden leicht höhere Werte festgestellt. Bei der Behandlung von niedrigeren BSB-Konzentrationen in getauchten Biofiltern fällt weniger Überschussschlamm an: ungefähr 0,2 kg TS/kg $BSB_{5eliminiert}$. Hochbelastete Anlagen weisen einen höheren spezifischen Überschussschlammanfall auf.
Für die Belüftung der aktiven Biomasse (Belebtschlamm) und für die Pumpen wird elektrische Energie benötigt. Der spezifische Energieverbrauch für Abbau/Elimination von 1 kg BSB_5 beträgt 0,3 - 3 kWh. Er hängt hauptsächlich von dem spezifischen Sauerstoffverbrauch, der für den Abbau der organischen Substanzen benötigt wird, und von der bemessenen Belastung des Belebtschlammes ab. Hochbelastete Belebtschlammsysteme benötigen ca. 0,3 - 0,5 kg O_2/kg $BSB_{5eliminiert}$. Niedrig belastete Systeme benötigen 1,5 - 2 kg O_2/ kg $BSB_{5eliminiert}$. Folglich verbraucht die hochbelastete Belebtschlammbehandlung 0,5 kWh/ kg $BSB_{5eliminiert}$ und die niedrig belastete Belebtschlammbehandlung ca. 1,5 - 2 kWh/ kg $BSB_{5eliminiert}$.
Sofern das niedrig belastete System gut konzipiert ist, kann ein Wert von < 1 kWh/kg $BSB_{5eliminiert}$ erreicht werden [Möbius, 1997]. Dieser Wert kann zum Vergleich der Betriebskosten der verschiedenen Abwassersysteme herangezogen werden.

Normalerweise werden mineralische Nährstoffe der biologischen Behandlungsanlage zur Aufrechterhaltung des C:P:N-Verhältnisses zugegeben, was für das Wachstum der aktiven Biomasse von entscheidender Bedeutung ist. Normalerweise wird Phosphor als Phosphorsäure und Stickstoff in Form von Harnstoff zugegeben. Ein Teil der zugegebenen Nährstoffe wird üblicherweise zusammen mit dem behandelten Abwasser emittiert. Wenn das System sorgfältig optimiert ist, sind Nährstoffemissionen von 1 mg ges-P/l und unter 10 mg anorganisch-N/l erreichbar (als Tagesmittelwert).

Besonders in der Sommerperiode emittiert die Abwasserbehandlungsanlage von Papierfabriken belästigende Gerüche. Wenn die Abwasserbehandlung sorgfältig konzipiert und kontrolliert wird, können belästigende Gerüche vermieden werden.

Betriebserfahrungen: Die aerobe biologische Behandlung von Abwässern aus Papierfabriken ist seit über 20 Jahren erfolgreich im Einsatz.

Die Neigung zur Blähschlammbildung bei der Belebtschlammbehandlung muss durch geeignete Maßnahmen beherrscht werden. Sie tritt im Allgemeinen dann auf, wenn im System eine Störung vorliegt, die z.B. durch Schwankungen in der Schmutzfracht, durch Schwankungen beim gelösten Sauerstoff in den Belebtschlammbecken, durch Fehlen oder durch Überschuss von Stickstoff und Phosphor oder durch Schwankungen bei der Rücklaufschlammmenge, die dem Belebungsbecken wieder zugeführt wird, verursacht wird.
Blähschlamm tritt normalerweise vorübergehend auf. Ein stufenweises Vorgehen kann einen Einblick in die Ursache der Blähschlammbildung geben. Dieses Vorgehen kann z.B. die Kontrolle der Bemessung der Behandlungsanlage, die mikroskopische Untersuchung des Belebtschlammes und die Überwachung des zulaufenden Abwassers einschließen. Im Allgemeinen ist die Überwachung notwendig, um einen Einblick in die möglichen Ursachen für die Probleme zu erhalten. In einigen Fällen wurde offenbar, dass niedermolekulare Carbonsäuren, wie Essigsäure, der Hauptgrund für das vorherrschende Wachstum von Fadenbakterien war, die für den Blähschlamm verantwortlich sind. Fadenbakterien können auch dann auftreten, wenn in den Abwässern Schwefel enthalten ist.

Für wenig kritische Papier- oder Kartonsorten (z.B. Testliner oder Papier) ist die Wiederverwendung von (einem Teil) von behandeltem Abwasser aus der biologischen Abwasserbehandlung, normalerweise nach zusätzlicher Behandlung mittels Flotation oder Sandfiltration, eine Möglichkeit.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die nachfolgenden Angaben zu Investitionskosten für die biologische Behandlung können nur einen groben Anhaltspunkt für die Größenordnung der anfallenden Kosten geben. Beim Vergleich der Investitionskosten, die auf der zu behandelnden Schmutzfracht (z.B. kg CSB) basieren, muss man bedenken, dass Behandlungsanlagen wegen der Berücksichtigung einer möglichen Erhöhung der Produktion in der Zukunft oft überdimensioniert sind.

Dennoch sind einige Beispiele von Behandlungssystemen in französischen Papierfabriken zusammengestellt:
- Belebtschlammanlage für eine Fabrik zur Herstellung von Druckpapier (200 t/d Papierproduktion): 2 Mio. EUR
- Belebtschlammanlage für eine Fabrik zur Herstellung von Druckpapier (300 t/d Papierproduktion): 3 Mio. EUR
- Biofiltration für eine Fabrik zur Herstellung von Spezialpapier (130 t/d Papierproduktion): 1,5 Mio. EUR
- Belebtschlammanlage für eine Fabrik zur Herstellung von Druckpapier (260 t/d Papierproduktion entsprechend 2,5 t CSB/d): 2 Mio. EUR
- Belebtschlammanlage für eine Fabrik zur Herstellung von Wellenpapier (100 t/d Papierproduktion): 1,5 Mio. EUR [alle Daten vom CTP, Grenoble].

Die Investitionskosten können wie folgt zusammengefasst werden:
Belebtschlammbehandlung: 300 - 600 EUR/kg CSB*d; Biofiltration: 500 EUR/kg CSB*d. Der Bereich der Investitionskosten hängt vor allem von der je Tag zu behandelnden Schmutzfracht ab.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Viele Mitgliedsstaaten haben Anforderungen an die Papierabwässer gestellt, wobei die biologische Behandlung für diesen Industriebereich grundsätzlich als BVT angesehen wird. Als Folge davon mussten viele Papierfabriken in Europa biologische Abwasserbehandlungsanlagen oder andere Behandlungssysteme mit vergleichbaren Reinigungsleistungen errichten.

Anlagenbeispiele: In europäischen Papierfabriken sind zahlreiche aerobe Abwasserbe-handlungsanlagen in Betrieb.

Literatur/Quellenangaben:
[Möbius, 1997 b], [Kostenangaben von CTP, Grenoble], [PTS, 1998]

6.3.11 Chemische Fällung des Abwassers aus Papierfabriken

Diese Technik wird als Alternative oder als ergänzende Technik zu der in Abschnitt 6.3.10 beschriebenen "Aerobe biologische Behandlung" von Abwasser aus Papierfabriken angesehen. Die chemische Fällung kann eine Ergänzung der biologischen Behandlung darstellen und wird entweder vor oder nach der biologischen Behandlung durchgeführt.

Beschreibung der Technik: In einigen Fällen kann die chemische Fällung als vollständige sekundäre Behandlung von unbehandeltem Abwasser aus Papierfabriken eine Möglichkeit zur Reduktion der Abwasseremissionen darstellen. Die chemische Fällung beinhaltet die Zugabe von Chemikalien zur Änderung des physikalischen Zustandes der gelösten und suspendierten Stoffe und erleichtert ihre Entfernung durch Sedimentation oder Flotation. Es werden unterschiedliche Stoffe als Fällmittel eingesetzt. Die häufigsten sind Aluminiumsalze [$Al_2(SO_4)_3$ und $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$], Eisenchlorid ($FeCl_3$), Eisen(III)sulfat ($Fe_2(SO_4)_3$), Eisen(II)sulfat ($FeSO_4$) oder Kalk ($Ca(OH)_2$). Zur Optimierung der Flockulation werden in der Mischphase Polyelektrolyte eingesetzt.
Suspendierte und kolloidale Stoffe werden durch Fällung und anschließende Filtration oder Klärung einschließlich der Entfernung von Stickstoff und Phosphor abgetrennt. Durch die chemische Fällung ist es möglich, ein klares Abwasser zu erhalten, das im Wesentlichen frei von suspendierten Stoffen oder kolloidal auftretenden Stoffen ist.
Diese Behandlung wird als alleinige Behandlung oder in Kombination mit der biologischen Behandlung angewendet. Letztere wird dann eingesetzt, wenn niedrigere Emissionen an organischen Stoffen (bestimmt als CSB und/oder BSB) zu erreichen sind. Die chemische Fällung spielt besonders dann eine Rolle, wenn Stickstoff, Phosphor und abfiltrierbare Stoffe ein Problem darstellen, während dies für die biologische Behandlung zutrifft, wenn niedrige Sauerstoffgehalte im Gewässer und nicht die Eutrophierung das Problem darstellt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine end-of-pipe-Technik, die sowohl für bestehende und neue Fabriken einsetzbar ist. Sie wird besonders bei kleineren Fabriken eingesetzt.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die chemische Fällung als vollständige sekundäre Behandlung von unbehandeltem Abwasser aus Papierfabriken wird hauptsächlich zur Reduzierung der Nährstoffgehalte, besonders von Phosphor, von den abfiltrierbaren Stoffen und von einem Teil der organischen Stoffe (partikuläre und kolloidale Verbindungen) eingesetzt. Die Ergebnisse von schwedischen Anlagen, in denen die chemische Fällung als alleinige Behandlung des Abwassers aus nichtintegrierten Papierfabriken eingesetzt wird, sind in Tabelle 6.23 wiedergegeben. Manchmal wird die chemische Fällung auch in Kombination mit der biologischen Behandlung angewendet.

Fabriken	CSB vor jeglicher Behandlung [kg/t]	CSB nach Behandlung		Abf. St.		ges-P		ges-N	
		kg/t	mg O_2/l	kg/t	mg/l	g/t	mg/l	g/t	mg/l
Klippans Fabrik, Feinpapier	n/v	6,4	120	0,7	13	2	0,04	200	3,7
Hafreström, Feinpapier	n/v	4,3	270	0,75	47	5	0,31	70	4,4
Silverdalen, gestrichenes Feinpapier [2)]	n/v	0,7	100	0,11	16	1	0,14	50	7,1
Grycksbo, gestrichenes Feinpapier [1)]	n/v	1,0	100	0,27	27	1	0,10	40	4,0
Skapafors, Tissue	n/v	3,7	110	0,48	15	1	0,30	430	1,3
Nättraby, Tissue [4)]	8 [3)]	2,5	170	0,16	11	2	0,13	30	2,0
Langasjönas, Tissue	12 [3)]	3,7	190	0,18	9	2	0,10	120	6,0
Pauliström, Tissue	5 [3)]	1,4	140	0,07	7	1	0,10	10	1,0

n/v = nicht verfügbar
Anmerkungen
1) Grycksbo betreibt die chemische Fällung und die biologische Behandlung in einem Fließbettsystem
2) Die Silverdalen Fabrik betreibt vor der chemischen Fällung einen Belüftungsteich
3) Der CSB vor jeglicher Behandlung schließt den durch die abfiltrierbaren Stoffe verursachten CSB ein
4) Die Nättraby Fabrik hat nur eine Flockung und keine echte chemische Fällung

Tabelle 6.23: Leistungsfähigkeit der chemischen Fällung als sekundäre Behandlung von Papierabwasser
Alle Fabriken haben die chemische Fällung eingesetzt, einige haben zusätzliche Behandlungsstufen [SEPA Report 4924 und persönliche Mitteilungen]; Jahresmittelwerte

Es werden Reduktionsraten für die abfiltrierbaren Stoffe von ungefähr 97 - 99 %, für den CSB in Bezug auf das Rohabwasser von 70 % (vor jeglicher Behandlung, d.h. vor dem Vorklärbecken) erreicht. Die CSB-Reduktion erfolgt hauptsächlich infolge der Reduktion der abfiltrierbaren Stoffe. Der lösliche Anteil des CSB (und des BSB) wird nur leicht reduziert (10%). Die Verminderung der löslichen Stoffe des CSB und BSB kann durch biologische Behandlung (siehe Abschnitt 6.3.10) erreicht werden.
Das CSB/BSB-Verhältnis im Bereich von 3 nach der chemischen Fällung weist darauf hin, dass wesentliche Anteile des entfernten CSB aus wenig biologisch abbaubaren und deshalb potenziell schädlicheren Stoffen bestehen. Es zeigt ebenfalls auf, dass diese Abwässer für die weitere biologische Behandlung geeignet sind.

Verlagerungseffekte: Die Fällung der abfiltrierbaren Stoffe, der Nährstoffe und zu einem geringeren Ausmaß der organischen Stoffe mittels anorganischen Chemikalien resultiert in einer großen Schlammmenge, die schwierig zu entwässern ist und oft auf einer Deponie abgelagert wird. Die Menge des anfallenden Schlammes liegt im Bereich von 3 - 6 kg/m^3 einschließlich 60 bis 80 % Wasser (nach den Pressen oder Zentrifugen liegt der Trockensubstanzgehalt bei 20 – 40 %).
Die Chemikalienkosten sind wesentlich und die Reinigung selektiv; neutrale Substanzen können nicht so wirksam wie dissoziierte Ionen oder kolloidale und partikuläre Stoffe erfasst werden. Der Einsatz von Fällmitteln führt zu einem Anstieg der Salzbelastung (Chloride oder Sulfate) im Abwasser. Die Einsatzmenge der Metallsalze liegt normalerweise zwischen 200 und 400 g/m^3.
Die Behandlung verbraucht etwas Energie für Pumpen und Antriebe.

Betriebserfahrungen: Es sind keine spezifischen Probleme im Zusammenhang mit der Anwendung dieser Technik bekannt.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Fabrik zur Herstellung von Druckpapier mit einer Kapazität von 100 t/d betragen die Investitionskosten für die physikalisch-chemische Behandlung 1 Mio. EUR. Die Investitionskosten für die chemische Fällung beinhalten den Ausgleichstank, die Lösungsstation für die Chemikalien, die Einrichtungen für die Chemikaliendosierung, die Fällungs- und Flockungseinheit und die Absetzbecken. Zu den Betriebskosten waren keine Angaben verfügbar.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die chemische Fällung von Abwasser aus nichtintegrierten Papierfabriken wird normalerweise dann angewendet, wenn Nährstoffe, abfiltrierbare Stoffe und nicht wasserlösliche Teile der organischen Stoffe im Abwasser entfernt werden müssen.

Referenzanlagen: Einige kleinere Fabriken in Portugal und einige nichtintegrierte Papierfabriken in Schweden

6.3.12 Ersatz potenziell schädlicher Stoffe durch weniger schädliche Alternativen

Beschreibung der Technik: In der Papierindustrie ist das Wasser das Medium, in dem die meisten freigesetzten Stoffe landen, da die Additive normalerweise der wässrigen Faser-Füllstoff-Suspension zugegeben werden und anschließend entweder im Papier verbleiben oder ins Kreislaufwasser gelangen. Die Luft ist von geringerer Bedeutung und der Boden kann durch die Abfallentsorgung (Kompostierung, Einsatz von Papierschlamm in der Landwirtschaft, Deponierung) beeinträchtigt werden.

Die zu erwartende Ableitung der Additive mit dem Abwasser hängt direkt mit der Retention dieser Chemikalien im Papierprodukt, mit der Abbaubarkeit der Stoffe und mit der Rückhaltung in der Abfallbehandlungsanlage zusammen. Je höher die Retention ist, umso niedriger ist die Ableitung mit dem Abwasser und umso niedriger ist die potenzielle Umweltwirkung der eingesetzten Additive. Im Falle der Produkthilfsmittel ist aus wirtschaftlicher (Verlust an Additiven) und aus ökologischer Sicht ein maximaler Retentionsgrad wünschenswert. Da die Produkthilfsmittel dazu konzipiert sind, dem Papier bestimmte Eigenschaften zu verleihen, und aus Kosten- und Effizienzgründen weisen sie grundsätzlich ein relativ hohes Retentionsniveau in den Zellstofffasern auf. Prozesshilfsmittel werden normalerweise geringer zurückgehalten, da sie ihre Wirkung in den Wasserkreisläufen der Papierfabriken entfalten sollen. Ein großer Anteil wird mit dem Abwasser abgeleitet. Weiterhin ist anzumerken, dass der Ausschuss normalerweise wieder aufgeschlossen wird, sodass einige der Additive in den Wasserkreislauf zurückgeführt werden. Das Wissen über die Retention der Additive ist deshalb wichtig. Auf der anderen Seite ist die Abbaubarkeit einer Substanz der entscheidende Punkt zur Vermeidung des Risikos einer Akkumulation eines betrachteten Stoffes in der Umwelt bzw. in Organismen.

Einige Wasserbehörden wenden sowohl die Retentionsfaktoren als auch die biologische Abbaubarkeit der Stoffe für die Bewertung und zur Minimierung des Beitrages der Additive zur CSB-Belastung des Abwassers nach Behandlung an. In Deutschland z.B. hat die Anwendung der in Abbildung 6.15 gezeigten Methode zu einem reduzierten Einsatz und/oder Substitution von einigen Additiven geführt, die einen beträchtlichen Anteil an der CSB-Belastung nach Behandlung verursachten (Substitutionsprinzip). Weiterhin musste die Fabrik berichten, wie und warum verschiedene Chemikalien im Einsatz sind.

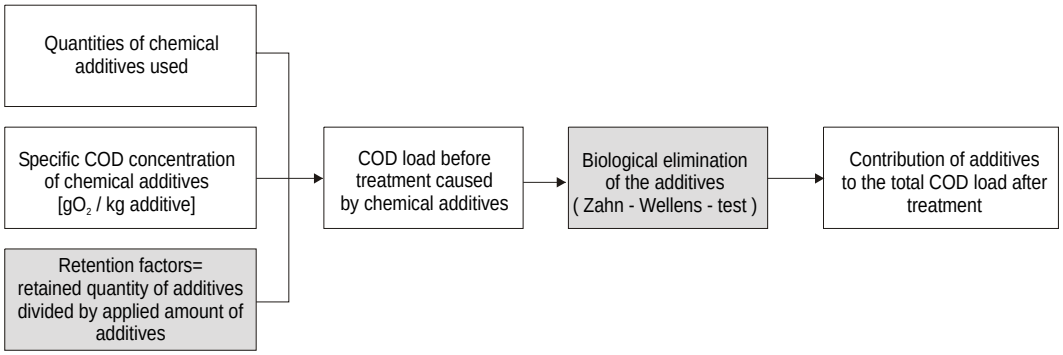


Abbildung 6.15: Pragmatischer Ansatz für die Bewertung der Menge an biologisch schwer abbaubaren Additiven, die im Abwasser aus Papierfabriken nach der Behandlung zu erwarten sind
[IFP, 1997]
Biological elimination of the additives (Zahn-Wellens-Test) = Biologische Elimination der Additive (Zahn-Wellens-Test);
COD load before treatment caused by chemical additives = die durch chemische Additive verursachte CSB-Belastung vor Behandlung;
Contribution of additives to the total COD load after treatment = Beitrag der Additive zur gesamten CSB-Belastung nach Behandlung;
Quantities of chemical additives used = Menge der eingesetzten chemischen Additive;
Retention factors = retained quantity of additives divided by applied amount of additives = Retentionsfaktoren = zurückgehaltene Menge an Additiven, geteilt durch durch die eingesetzte Additivmenge;
Specific COD concentration of chemical additives [g O_2/kg additive] = Spezifische CSB-Konzentration der chemischen Additive in [g O_2/kg Additiv]

Neben dem grundsätzlichen Ansatz zur Reduktion der Emission von chemischen Additiven mit dem Wasser kann es aus Umweltsicht einige Kandidaten zur Substitution geben. Dies könnte besonders der Fall sein, wenn Chemikalien als gefährlich angesehen werden und wenn es weniger gefährliche Ersatzstoffe gibt, mit denen der gleiche Zweck erreicht werden kann. Biologisch abbaubare, nicht toxische und nicht bioakkumulative Chemikalien sollten, wenn immer möglich, bevorzugt werden. Chemikalien, die im Verdacht stehen, ein Risiko für Mensch und Umwelt zu sein, sollten vermieden werden, z.B. solche, die zum Abbau der Ozonschicht beitragen, Stoffe, die im Verdacht stehen endokrine Wirkung zu haben, und so genannte CMR-Stoffe (karzinogen, mutagen, reproduktionstoxisch). Organische Kohlenwasserstoffe, wie Benzol (karzinogen), Toluol (toxisch) und Xylol (toxisch) in Lösungsmitteln und Detergenzien, die möglicherweise für die Reinigung von Sieben, Filzen und Maschinen eingesetzt werden, sollten durch Lösungsmittel ersetzt werden, die geringere toxische Effekte aufweisen. Es sind Alternativen (z.B. Ester) verfügbar, die auch zu einem gewissen Grad biologisch abbaubar sind.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Ein mögliches Ergebnis eines solchen Ansatzes für die Überprüfung der Additive könnte dem in Abbildung 6.16 wiedergegebenen ähnlich sein. Einige Stoffe – vor allem Prozesshilfsmittel – werden weder zurückgehalten noch biologisch abgebaut (Stoff A). In diesem Fall gelangen die angewandten Additive schließlich vollständig ins Gewässer. Andere Stoffe werden teilweise zurückgehalten und teilweise in der Abwasserbehandlungsanlage eliminiert (Stoff B), andere wiederum werden zu nahezu 100 % zurückgehalten und erreichen nicht einmal die Behandlungsanlage. Es kann angenommen werden, dass die meisten Produkthilfsmittel sowohl teilweise zurückgehalten als auch zu einem bestimmten Grad in der Abwasserbehandlungsanlage eliminiert werden. Prozesshilfsmittel weisen eine niedrige Retention in den Zellstofffasern auf und sind deshalb schlussendlich im Abwasser zu erwarten.

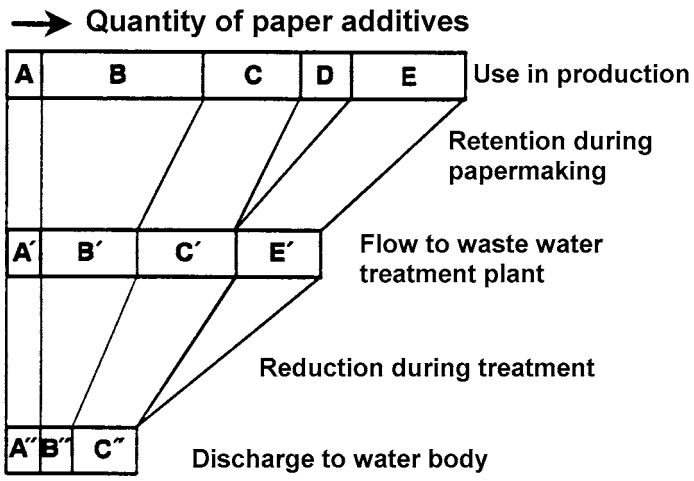


Abbildung 6.16: Schematische Darstellung des Verbleibs der chemischen Additive bei der Papierherstellung einschließlich der externen Abwasserbehandlung; [IFP, 1997]
Discharge to water body = Einleitung in das Gewässer; Flow to waste water treatment plant = Zufluss zur Abwasserbehandlungsanlage; Quantity of paper additives = Menge der Papieradditive; Reduction during treatment = Reduktion durch die Behandlung; Retention during papermaking = Retention im Zuge der Papierherstellung; Use in production = Einsatz in der Produktion
A: Neither retention nor reduction = weder Retention noch Reduktion
B: Partly retained and reduced = teilweise zurückgehalten und reduziert
C: No retention but partial reduction = keine Retention, aber Teil-Reduktion
D: 100% retention = 100% Retention
E: Little retention, 100% reduction = geringe Retention, 100% Reduktion

Überwachung: Die benötigten Daten sollten normalerweise von den Chemikalienlieferanten zur Verfügung gestellt werden.

Verlagerungseffekte: Die Reduktion von schädlichen Additiven bei der Papierverarbeitung führt zu einer geringeren Einwirkung auf die Wasser- und Abfallkompartimente. Dies kann auch aus Sicht des Life-Cycle-Managements von Vorteil sein. Durch den Einsatz von umweltfreundlichen Produkthilfsmitteln kann das Auftreten von schädlichen Stoffen im Produkt vermieden werden. Das Produkt wiederum kann als Rohstoff in der Altpapierverarbeitung dienen.

Angaben zum Betrieb: Für die chemischen Additive und Hilfsmittel fehlt noch ein transparentes Informationssystem**,** mit dem die Hersteller, Importeure und Anwender von Chemikalien eine "Selbstbewertung" der Chemikalien für die jeweilige Stufe des "Lebenszyklusses" durchführen, für die sie verantwortlich sind. Die relevanten Daten würden dann von einer Firma zur nächsten zur Vermeidung von Doppelarbeit weitergereicht. Einige Regierungen bieten Unterstützung und die Bewertung von Chemikalien durch Auditierungsfirmen an, andere verlangen von den Firmen mehr für die Verbesserung der Ökoeffizienz der Chemikalienherstellung zu tun – Einsatz von weniger Ressourcen und geringere Emission je Mengeneinheit eines Produktes. Einen Überblick über die Entwicklung und den gegenwärtigen Stand von ausgewählten Umweltrisikobewertungsschemata von Stoffen mit Schwerpunkt auf den aquatischen Umweltaspekten ist in [EurEco, 1997] enthalten.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Es sind keine Daten verfügbar.

Wichtigste Gründe für die Einführung dieser Technik: Einige Wasserbehörden stellen Anforderungen an die Minimierung des Beitrages der Additive zur CSB-Belastung des Abwassers nach Behandlung. Es können auch Anforderungen an die Reduktion der Emission von Biociden angetroffen werden. Biologisch abbaubare, nicht toxische und nicht bioakkumulative Chemikalien sollten grundsätzlich, wenn immer möglich, bevorzugt werden. Chemikalien, die im Verdacht stehen, ein Risiko auf Mensch und Umwelt zu haben, sollten vermieden werden, besonders solche, die die Ozonschicht schädigen, die im Verdacht stehen endokrine Wirkung zu haben und so genannte CMR-Stoffe (karzinogen, mutagen, reproduktionstoxisch).

Anlagenbeispiele: Eine begrenzte Anzahl von Anlagen in Europa.

Literatur
[IFP, 1997], [Braunsprenger, 1996], [EurEco, 1997]

6.3.13 Vorbehandlung des Schlammes (Entwässerung) für die endgültige Entsorgung oder Verbrennung

Beschreibung der Technik: In Abwasserbehandlungsanlagen fallen große Mengen an Schlamm in der primären Behandlung, in Belebtschlammanlagen und in chemischen Fällungsanlagen, einschließlich der Streichfarbenbehandlung an. In Belüftungsteichen sowie in anaeroben Anlagen fällt üblicherweise Schlamm in geringeren Mengen an.

Die Schlammbehandlung beinhaltet die folgenden wichtigsten Stufen:

- Wiederverwertung des Faserschlammes aus der primären Behandlung. Dies wird in vielen Fällen praktiziert.
- Eindickung und Entwässerung des Faser-/biologischen/(chemischen) Schlammes.
- Endgültige Entsorgung des entwässerten Schlammes.

Die Wiederverwertung des Faserschlammes wird in den Fällen praktiziert, in denen dies im Hinblick auf die Produktanforderungen etc. geeignet ist. Die interne Faserrückgewinnung führt jedoch oft zu niedrigen Faserableitungen und zu schlechten Schlammeigenschaften. In diesen Fällen ist die Verwertung des Schlammes nicht möglich.

Die biologischen und chemischen Schlämme haben schlechte Entwässerungseigenschaften und müssen normalerweise mit Faserschlamm zur Erreichung von akzeptablen Entwässerungs-bedingungen gemischt werden. Deshalb sollte bei Vorliegen von biologischen/chemischen Schlämmen wenigstens ein Teil des Faserschlammes entwässert und nicht wiederverwertet werden. Eine weitgehende interne Faserrückgewinnung bedeutet auch zunehmende Schwierigkeiten bei der Entwässerung der biologischen/chemischen Schlämme.

Die Entwässerung stellt auf die möglichst weitgehende Entfernung des Wassers aus dem Schlamm ab, um die endgültige Entsorgung zu fördern. Es sind dafür verschiedene mechanische Einrichtungen verfügbar.

Biologische und chemische Schlämme sollten vor der Entwässerung normalerweise eingedickt werden. Dies führt zu einer Zunahme des Feststoffgehaltes von ungefähr 1 - 2 % TS auf 3 - 4 % TS oder höher. Die Eindickung erfolgt normalerweise in einem Schwerkrafteindicker, bei dem es sich im Grunde um ein mit niedriger Belastung betriebenes Absetzbecken handelt.

Vor der Entwässerung muss der Schlamm normalerweise mit Chemikalien konditioniert werden. Gewöhnlich reichen dafür Polyelektrolyte aus. Dies betrifft besonders Schlammmischungen aus biologischem und/oder chemischem Schlamm.

Die Entwässerungseinrichtungen umfassen folgende Arten:

- Bandpressen (Doppelsiebpressen)
- Schraubenpressen

- Dekanterzentrifugen
- Kammerfilterpressen

Die meisten in den vergangenen 10 – 15 Jahren neu installierten Einrichtungen sind Bandpressen, die eine zuverlässige Funktion aufweisen und auf einen ziemlich hohen TS-Gehalt, 40 - 50 % TS bei Faserschlamm und 25 - 40 % TS bei gemischtem Faser-/biologischem/(chemischem) Schlamm, entwässern. Allerdings gibt es neuerdings den Trend, Schraubenpressen einzusetzen.

Schraubenpressen können in zwei Arten und Weisen eingesetzt werden:

- Zur Erhöhung des TS-Gehaltes nach der Bandpressenentwässerung; es kann ungefähr eine 10 %ige Erhöhung des TS-Gehaltes erreicht werden.
- Direkte Entwässerung; es können höhere TS-Gehalte im Vergleich zur Bandpressenent-wässerung erreicht werden.

Seit einigen Jahren wird die zunehmende Anwendung von Schraubenpressen wegen des gestiegenen Interesses an der Schlammverbrennung, die höhere TS-Gehalte benötigt, beobachtet.

Dekanterzentrifugen werden gegenwärtig am häufigsten für Schlämme mit schlechten Entwässerungseigenschaften eingesetzt, wie reine Chemikalienschlämme oder biologische Schlämme (soweit sie separat entwässert werden). Sie führen zu niedrigeren TS-Gehalten als dies bei Band- und Schraubenpressen der Fall ist. Rotierende Filter mit Vorfilterschicht können für diese Anwendung ebenfalls eingesetzt werden und erreichen höhere Trockensubstanzgehalte. Die anfallenden Filtrate weisen einen niedrigen Gehalt von weniger als 10 mg/l an abfiltrierbaren Stoffen auf (Superklarfiltrat).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass für alle Schlämme Entwässerungsmethoden verfügbar sind. Sie sind in der Lage, die Schlämme auf solche TS-Gehalte zu entwässern, die für die endgültige Entsorgung erforderlich sind.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Maßnahme kann in bestehenden und in neuen Fabriken zum Einsatz kommen. Heutzutage ist es unmöglich, eine Fabrik ohne Entwässerungseinrichtungen zu betreiben, da die Entsorgung von großen Mengen von Dünnschlamm ein Problem darstellt.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Die Schlammentwässerung kann das Schlammvolumen um den Faktor 20 verringern.
Der Umweltnutzen wird am Ort der Entsorgung sichtbar. Die reduzierte Verschmutzung des Grundwassers ist eine der Auswirkungen.

Emissionsmessungen: Die Emissionsmessungen werden in einem separaten Kapitel dargestellt.

Verlagerungseffekte: Der in der Abwasseranlage nach Entwässerung anfallende Schlamm kann verbrannt werden und ermöglicht in einigen Fällen einen Nettowärmeüberschuss.

Betriebserfahrungen: Viele Arten von Entwässerungseinrichtungen, beginnend von wenig effizienten Trommelfiltern zu hoch effizienten Schraubenpressen, sind in allen Arten von Papier- und Kartonfabriken im Einsatz. Die gegenwärtigen Hochleistungsbandfilterpressen und Schraubenpressenkonzeptionen, die für das Erreichen der Vorgabe hoher Trockensubstanz-gehalte im Einsatz sind, haben sich in den meisten Fällen als effizient erwiesen. Kontinuierlich rotierende Trommelfilter mit Vorfilterschicht werden in der Papierindustrie auch betrieben und liefern einen Schlamm mit 40 – 50 % TS-Gehalt und eine hohe Filtratqualität (10 mg abf. St./l). Dies wird durch eine höhere Umlaufgeschwindigkeit bei dünnerem abgeschältem Filterkuchen erreicht.
Je höher jedoch der Anteil von Bioschlamm in der zu entwässernden Mischung und je höher das Trockensubstanzziel ist, umso empfindlicher wird das gesamte System hinsichtlich qualitativen und quantitativen Schwankungen des zugeführten Schlammes und gegenüber anderen eingestellten Betriebsparametern.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Für eine Fabrik zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier mit einer Produktion von 1500 t/d entstehen für die Schlammentwässerung folgende Investitionskosten:

Siebpresse	1,5 – 1,8 Mio. EUR
Schraubenpresse	1,7 – 2,0 Mio. EUR
Zentrifuge	0,7 – 0,9 Mio. EUR

Unter der Annahme, dass die Entwässerung sowohl für den primären als auch für den biologischen Schlamm durchgeführt wird, betragen die Betriebskosten 0,3 – 0,6 Mio. EUR/a. Die Kosten hängen stark von der Schlammzusammensetzung und dem Bedarf an Flockungschemikalien ab.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Gründe für die Einführung dieser Technik liegen in den für den Transport und die endgültige Entsorgung geeigneteren Feststoffgehalte.

Anlagenbeispiele: Weltweit zahlreiche Anlagen für alle Arten von Abwässern.

Literatur:
[J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [SEPA-Report 4713-2, 1997]

6.3.14 Optionen für die Abfallbehandlung

Einleitung
Die Herstellung von Papier und Karton ist mit dem Anfall von Rückständen und Abfällen verbunden. Der europäische Abfallkatalog (94/3/EEC) beabsichtigt die Einführung einer einheitlichen Terminologie für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union. Allerdings ist in Europa noch eine unterschiedliche Terminologie für die unterschiedlichen, in den Papierfabriken anfallenden Abfallfraktionen in Gebrauch. Der europäische Abfallkatalog nennt für Papierfabriken folgende Abfallfraktionen:

- Faser- und Papierschlamm
- Für Fabriken, die Altpapier einsetzen: Rejekte aus dem Papier- und Kartonrecycling und Deinkingschlämme aus dem Papierrecycling (siehe Kapitel 5). Es gibt bestimmte Überschneidungen mit diesem Bereich.
- Für integrierte Fabriken mit Zellstoffherstellung: Sedimentierte Schlämme und Grünlaugenschlamm (aus der Schwarzlaugenbehandlung); siehe Kapitel 2, 3 und 4. Diese Abfälle werden hier nicht angesprochen.
- Abfall aus der Aufbereitung von Wasser für industrielle Zwecke
- Schlämme aus Abwasserbehandlungsanlagen
- Sonstige, nicht näher spezifizierte Abfälle

Die Abfallfraktionen werden in Abhängigkeit von den Möglichkeiten für die Verwertung/Recycling und für die weitere Behandlung und Entsorgung auf verschiedene Weisen getrennt und gemischt. Angaben für die einzelnen Abfallfraktionen sind nur spärlich verfügbar. Oftmals werden nur Angaben zum Schlamm und zu Rejekten oder manchmal nur zum Schlamm gemacht. Deshalb werden die Rückstände aus Papierfabriken im Folgenden als ein Massenstrom dargestellt.
Die wichtigsten spezifischen Rückstände sind die Rejekte aus der Stoffaufbereitung, Faser- und Papierschlamm und Schlamm aus der Abwasserbehandlung. Diese fallen sowohl in Frischfaser verarbeitenden als auch in Altpapier verarbeitenden Fabriken an. Allerdings sind die in Frischfaser verarbeitenden Fabriken anfallenden Mengen niedriger, normalerweise weniger als 50 kg/t, während in Altpapier verarbeitenden Fabriken (z.B. Fabriken zur Herstellung von Tissue) die Mengen sehr viel größer sind, z.B. bis zu 1000 kg TS/t Tissue. Die Zusammensetzung und die Menge des festen Abfalls hängen von den hergestellten Papiersorten, den eingesetzten Rohstoffen, den angewendeten Verfahrenstechniken und den zu erreichenden Papiereigenschaften ab.

Das Abfallmanagement besteht aus der Abfallvermeidung, der Verwertung, dem stofflichen Recycling, der Kompostierung, der Energierückgewinnung und der endgültigen Entsorgung. Der nachfolgende Entscheidungsbaum bietet einen groben Überblick über die wichtigsten Optionen beim Abfallmanagement und hebt einige wichtige Aspekte hervor. Es gibt keine Standardlösungen für die Abfallbehandlung in Papierfabriken.

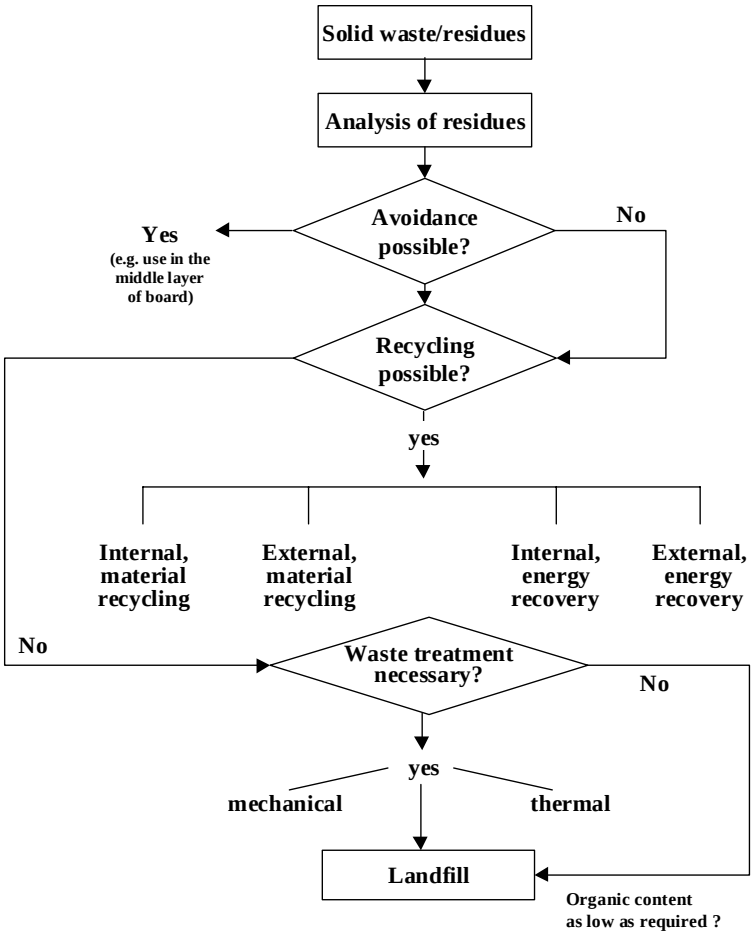


Abbildung 6.17: Möglicher Entscheidungsbaum für das Abfallmanagement von Papierfabrikabfall [nach Hamm, 1996]

Analysis of residues = Analyse der Rückstände; Avoidance possible? = Vermeidung möglich?; (e.g. use in the middle layer of board) = (z.B. Verwendung für die Einlage im Karton); External energy recovery = Externe Energierückgewinnung; External material recycling = Externes stoffliches Recycling; Internal energy recovery = Interne Energierückgewinnung; Internal material recycling = Internes stoffliches Recycling; Landfill = Deponie; mechanical = mechanisch; No = Nein; Organic content as low as required? = ist der Gehalt an organischen Stoffen so niedrig wie erforderlich?; Recycling possible? = Recycling möglich?; Solid waste/residues = Feste Abfälle/Rückstände; thermal = thermisch; Waste treatment necessary? = Abfallbehandlung erforderlich?; yes = ja

Die Rückstände aus Papierfabriken - außer der Asche aus den Kraftwerken und den Kesselhäusern und von betriebsinternen Verbrennungsanlagen - sind durch einen relativ hohen Gehalt an organischen Stoffen gekennzeichnet. Dennoch wird in vielen europäischen Ländern (z.B Großbritannien, Spanien) die Deponierung zur Abfallentsorgung noch weithin praktiziert. Gleichzeitig wird die Deponierung von Abfall mit hohem Organikgehalt in vielen Mitgliedsstaaten durch die Regierungen missbilligt und wird voraussichtlich in der näheren Zukunft verboten. Die EU-Verordnung für die Deponierung von Abfall unterstützt diese Entwicklungsrichtung durch Zielvorgaben zur Begrenzung der Menge an biologisch abbaubaren (kommunalen), zu Deponien verbrachten Abfällen. Folglich werden alternative Rückgewinungstechniken, wie das stoffliche Recycling und die Verbrennung mit Energierückgewinnung in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Diese Behandlungsoptionen werden im Folgenden als bei der Bestimmung der BVT zu betrachtende Techniken dargestellt. Die Rückgewinnungsmaßnahmen werden dort als zu bevorzugende Behandlungsmöglichkeiten angesehen, wo die Rückstände einer weiteren Verwendung zugeführt werden, bei der einige oder alle Inhaltsstoffe (einschließlich der Energie) wieder verwendet oder zurückgewonnen werden. Es ist BVT, diese Möglichkeiten zu identifizieren und ihre Umsetzung sicherzustellen. Es werden einige wichtige technische Aspekte und der Nutzen hervorgehoben und Bedenken oder Einschränkungen der unterschiedlichen Behandlungsoptionen dargestellt.

Stoffliches Recycling

Abbildung 6.18 bietet einen Überblick über die wichtigsten Behandlungsmöglichkeiten für das stoffliche Recycling und der Faktoren, die die Auswahl der Behandlungsmöglichkeiten bestimmen.

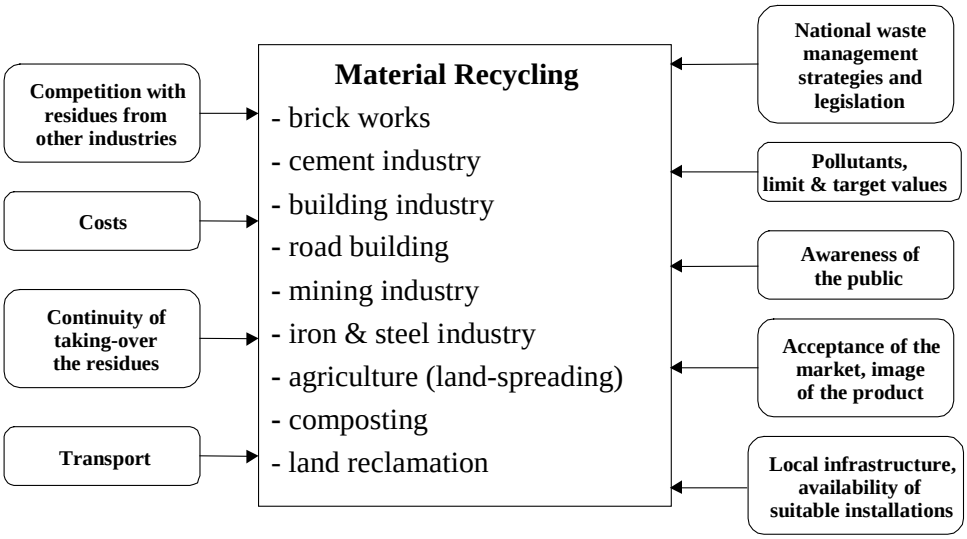


Abbildung 6.18: Optionen für das stoffliche Recycling von Rückständen aus Papierfabriken und Faktoren, die die Auswahl der Behandlungsmöglichkeiten bestimmen
[Hamm, 1996; geändert durch EIPPCB]

Acceptance of the market, image of the product = Marktakzeptanz, Image des Produktes; agriculture (land-spreading) = Landwirtschaft (Ausbringen); Awareness of the public = Bewusstsein der Öffentlichkeit; brick works = Ziegeleien; building industry = Bauindustrie; cement industry = Zementindustrie; Competition with residues from other industries = Konkurrenz mit Rückständen aus anderen Industrien; Composting = Kompostierung; Continuity of taking-over the residues = Kontinuierliche Abnahmne der Rückstände; Cost = Kosten; iron & steel industry = Eisen- und Stahlindustrie; Land reclamation = Landgewinnung ; Local infrastructure, availability of suitable installations = Örtliche Infrastruktur, Verfügbarkeit von geeigneten Anlagen; Material Recycling = Stoffliches Recycling; mining industry = Bergbauindustrie; National waste management strategies and legislation = Nationale Abfallmanagementstrategien und Gesetzgebung; Pollutants, limit & target values = Schadstoffe, Grenzwerte und Zielvorgaben; road building = Straßenbau; transport = Transport

Die Abbildung 6.18 zeigt auf, dass die von einer bestehenden Fabrik gewählte Möglichkeit von einem Bündel von Faktoren bestimmt wird. Die wichtigsten Faktoren können die örtliche Infrastruktur, die Kosten und die Konkurrenz mit Abfällen aus anderen Industrien sein. Letztere ist bei der Verwendung von Papierschlamm in der Zementindustrie und in Ziegeleien relevant. Bezüglich des Transports reduziert das Prinzip der Nähe die Umweltbelastung und die Kosten. Der Einsatz von Papierrückständen als Rohmaterial für die verschiedenen in Abbildung 6.18 genannten Möglichkeiten hängt neben anderen Dingen von der örtlichen Verfügbarkeit der geeigneten Prozesse ab.

In einigen Ländern werden die Kompostierung des Papierschlammes und die Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen praktiziert. Für diese Alternative ist die Überwachung von potenziellen Schadstoffen von entscheidender Bedeutung. Allerdings enthält der Schlamm aus Papierfabriken normalerweise nicht mehr Schadstoffe als Schlamm aus kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen und der begrenzte Einsatz kann einige positive Effekte auf den Boden haben ($CaCO_3$ als Neutralisationsmittel bei sauren Böden, feuchte Retention durch Fasern und Feinstoffe bei trockenen Böden, niedriger Stickstoffgehalt). Der mögliche Nutzen schwankt entsprechend dem Bodentyp. Die Zeiträume für das Aufbringen auf Landflächen sind auf einige Monate im Jahr beschränkt. Deshalb ist es notwendig, eine sicher ausreichende Speicherkapazität für den Schlamm zu errichten.
Die Machbarkeit der Aufbringung auf Landflächen hängt stark von der Akzeptanz der Aufbringung von Schlamm auf landwirtschaftliche Flächen in den Mitgliedsstaaten ab. In einigen Mitgliedsstaaten wird diese Praxis als wirtschaftlich vorteilhafter Entsorgungsweg gefördert, andere Mitgliedsstaaten haben gegenüber der Landaufbringung von Papierschlamm Bedenken. Die größten Bedenken sind die mögliche Verunreinigung der Böden mit niedrigen Konzentrationen an Schwermetallen und organischen Mikroverunreinigungen, die örtliche

Ablehnung wegen Ärger oder Imageproblemen für die landwirtschaftlichen Produkte von Flächen, auf denen Rückstände aufgebracht wurden.
Bei der Kompostierung sind die Qualitätsanforderungen an den Kompost für den Erhalt eines vermarktungsfähigen Produktes am wichtigsten. Komposte, die aus einer Mischung von organischem Abfall und verschiedenen Mengen an Altpapier und Rückständen aus der Papierindustrie bestehen, erfüllen diese Anforderungen, wie der Reifegrad oder die Eignung für das Pflanzenwachstum. Weiterhin werden Parameter wie der Gehalt an Salz und organischen Stoffen und die prozessspezifischen Sickerwasseremissionen positiv beeinflusst. Die Konzentrationen an Schadstoffen, besonders diejenigen von Schwermetallen, müssen als begrenzender Faktor angesehen werden.

Eine andere Möglichkeit für die Behandlung von Schlamm aus Papierfabriken ist die Verwendung in der Zement- und Ziegelindustrie (zur Verbesserung der Porosität) oder für andere Baustoffe. In der Zementindustrie können sowohl die Stoffe als auch der Energiegehalt der Papierrückstände zurückgewonnen werden. In der Zementindustrie ist der Einsatz des Schlammes aus den Vorklärbecken (oder gemischt mit Überschussschlamm aus der biologischen Behandlung) wegen seines Gehaltes an Fasern und Feinstoffen und anorganischen Stoffen (z.B. Füllstoffe, Streichpigmente) besonders geeignet. Der Schlamm (mit einem Feuchtegehalt von ungefähr 50 %) wird mit Abwärme aus dem Vortrockner des Zementdrehrohrs getrocknet, sodass keine zusätzliche thermische Energie zur Reduzierung des Feuchtegehaltes des Schlammes auf Werte um 10 – 15 % erforderlich ist. Auf diese Weise wird bei der Verbrennung des getrockneten Schlammes im Zementdrehrohr der Heizwert der organischen Stoffe verwertet und die Asche aus der Verbrennung des Schlammes verbleibt (hauptsächlich) im Produkt (Zement). Die anorganischen Stoffe in der Asche des verbrannten Schlammes sind auch Bestandteil des Zementklinkers. Wenn die Betriebe zur Zementherstellung (oder Ziegeleien) in der Nähe der Fabrik liegen (kurze Transportwege) und in der Lage sind, den Schlamm einzusetzen, stellt dies eine vernünftige Möglichkeit dar.

Energierückgewinnung
Rückstände und Schlämme enthalten organische Stoffe, die in betriebseigenen oder externen speziellen Verbrennungsanlagen mit Energierückgewinnung (bei betriebsinterner Verbrennung in nichtintegrierten Fabriken ist die zu verbrennende Schlammmenge normalerweise nicht ausreichend) verbrannt werden können. Die Verbrennungsanlagen mit Energierückgewinnung können in Anlagen zur Monoverbrennung und zur Mitverbrennung eingeteilt werden.

In Monoverbrennungsanlagen, die gewöhnlich Wirbelschichtanlagen, Etagenöfen oder Kessel mit Verbrennungstemperaturen im Bereich von 850 °C bis 950 °C sind, wird ausschließlich Abfall aus der Papierindustrie verbrannt. Diese Anlagen erreichen die gesetzlichen Anforderungen für Abfallverbrennungsanlagen, sofern die Abgasemissionen vermindert werden und werden als BVT angesehen. Für weitere Informationen wird auf Abschnitt 5.3.11 dieses Dokumentes verwiesen. Die Aschen können deponiert oder weiter in der Bauindustrie verwendet werden.

Die Mitverbrennung von Rückständen aus der Papierindustrie wird in Zementdrehrohröfen, Kohlekraftwerken (siehe Abschnitt 5.3.11, Beispiel 2), in kommunalen Abfallverbrennungs-anlagen, Hochöfen (Eisen- und Stahlindustrie) und Kupolöfen (Gießereien) praktiziert. Für diese Möglichkeiten sind Rückstände mit hohem Heizwert für den Ersatz von fossilen Brennstoffen (z.B. Kohle, Erdöl) besonders geeignet. Die Rückstände aus Papierfabriken werden normalerweise mit anderen Brennstoffen zur Verbrennung in diesen Anlagen gemischt. Vor der Verbrennung müssen sie entwässert und manchmal auch getrocknet werden (z.B. für die Zement und Eisen- und Stahlindustrie). Als Faustregel kann gesagt werden, dass je ähnlicher die Eigenschaften der Rückstände dem normalerweise zu verbrennenden Feststoff sind, desto leichter ist die Mitverbrennung. Die Homogenität der Sekundärbrennstoffe und die einheitliche und konstante Zusammensetzung der Rückstände sind auch wichtig. Die Kontrolle dieser Parameter macht den Abfall aus der Papierindustrie für Verbrennungsanlagen interessanter.

Das Verbrennungsverhalten von Rückständen aus Papierfabriken, wie Deinkingschlamm, Rejekte aus der Reinigung und Sortierung oder Schlamm aus der Abwasserbehandlung wird in Abbildung 6.19 aufgezeigt. Sie illustriert den Zusammenhang zwischen brennbarem/organischem Gehalt, dem Aschegehalt und dem Wassergehalt. Der Bereich der selbstgängigen Verbrennung, in dem keine zusätzlichen Brennstoffe erforderlich sind, ist besonders markiert.

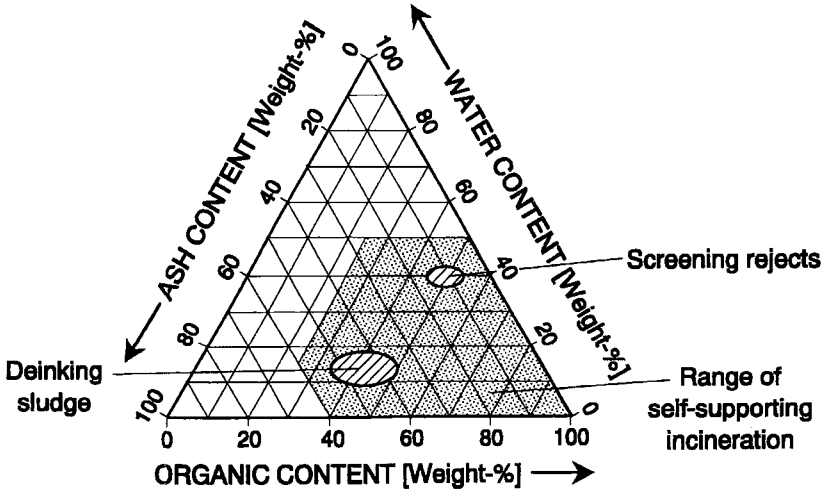


Abbildung 6.19: Brennstoffdreieck für Rückstände aus der Papierindustrie (vom IfP zur Verfügung gestellt)
ASH CONTENT = Aschegehalt; Deinking sludge = Deinkingschlamm; ORGANIC CONTENT = Organikgehalt; Range of self-supporting incineration = Bereich der selbstgängigen Verbrennung; Screening rejects = Sortierrejekte; WATER CONTENT = Wassergehalt; Weight-% = Gewichts-%

Der Bereich, in dem sich der entwässerte Deinkingschlamm und die entwässerten Rejekte aus der mechanischen Reinigung und Sortierung befinden, ist schraffiert. Es ist ersichtlich, dass die selbstgängige Verbrennung sowohl für Rejekte mit relativ hohen Heizwerten als auch für den Deinkingschlamm mit relativ hohem Aschegehalt möglich ist. Bei der Schlammverbrennung liegt der Nettoenergieanfall um Null oder ist negativ, wenn der Feststoffgehalt im Schlamm unter 40 % beträgt und wenn der Schlamm sehr hohe Anteile an anorganischen Stoffen enthält. In diesen Fällen ist zur Aufrechterhaltung guter Verbrennungsbedingungen der Einsatz von Hilfsbrennstoff notwendig, wenn nicht der Schlamm mit Rinde oder anderem Holzabfallmaterial gemischt wird. Die Verbrennung reduziert das Abfallvolumen und der Gehalt an anorganischen Stoffen verbleibt in der Asche (bis zur Hälfte des Gewichtes kann als anorganische Asche übrig bleiben), die normalerweise zu einer Deponie verbracht oder als Rohstoff in der Bauindustrie verwendet wird.

Die Auswirkung der Mitverbrennung von Rückständen und Schlamm aus Papierfabriken auf die Abgasemissionen hängt von der Zusammensetzung des zu verbrennenden Materials ab. Die Mitverbrennung von Faser- und Papierschlamm, besonders solcher mit hohem Alkaligehalt, in steinkohle- oder braunkohlebefeuerten Kraftwerken hat entweder keinen Effekt auf die Abgasemissionen oder führt zu einem leichten Rückgang der Schadstoffemissionen. Die Emissionen an SO_2, HCl und HF werden durch die Mitverbrennung von Schlamm mit hohem Alkali-Gehalt (Deinkingschlamm, Faserschlamm, der Streichpigmente und Füllstoff enthält) reduziert. Im Vergleich zur Steinkohle oder zur Braunkohle ist auch der Gehalt an Schwermetallen im Faser- und Papierschlamm niedrig. Die Rejekte aus der Stoffaufbereitung in Altpapier verarbeitenden Fabriken, die Wellenpapier herstellen, weisen einen höheren Chlorgehalt (1 - 3 Massen-%) auf. Erste Erfahrungen in großtechnischen Anlagen in Deutschland haben jedoch gezeigt, dass die Mitverbrennung von Rejekten in braunkohlebefeuerten Kraftwerken machbar ist. Es wurde keine Erhöhung der PCDD/F-Emissionen gemessen.

Die Verfügbarkeit der Verbrennung schwankt zwischen den Mitgliedsstaaten beträchtlich und auch innerhalb der einzelnen Länder. Verbrennungsanlagen sehen sich manchmal dem beträchtlichen Hindernis der örtlichen Ablehnung gegenüber.

In integrierten Zellstoff- und Papierfabriken wird ein großer Anteil des Schlammes normalerweise zusammen mit Rinde in Rindenkesseln verbrannt (siehe Kapitel 2, 3 und 4).

Integrierte Altpapierfabriken haben möglicherweise eine betriebsinterne Verbrennungsanlage installiert (siehe Kapitel 5). In diesen Fabriken müssen die Aschen und Rückstände aus der Abgasreinigung wie z.B. Staub aus dem Elektrofilter oder Gips aus der SO_2-Entfernung (sofern angewendet) auch als Abfallfraktion behandelt werden.

Literatur
[Hamm, 1996], [Wünschmann et al., 1995a], [Wünschmann et al., 1995b], [Wünschmann et al., 1995c], [IPTS, 1997], [Guillet, 1997]

6.3.15 Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen in Hilfskesseln (Öl, Gas, Kohle)

Beschreibung der Technik: In Papier- und Kartonfabriken kann eine Vielzahl von regenerativen oder fossilen Brennstoffen (Rinde, Steinkohle, Braunkohle, Öl oder Erdgas) für die ergänzende Dampfproduktion eingesetzt werden. Zur Verbrennung dieser Brennstoffe sollten umweltfreundliche Verbrennungstechniken zur Minimierung der Emissionen an Staub, SO_2 und auch NO_x zum Einsatz kommen.

Der Einsatz von Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen zur Verbrennung von festen Brennstoffen und von Abfällen aus der Zellstoff- und Papierfabrik in Wirbelschichtkesseln ist in 2.3.20 dargestellt. Steinkohle und Braunkohle eignen sich gut zur Verbrennung als Hauptbrennstoff in Wirbelschichtsystemen, die bei sorgfältig überwachtem Betrieb eine niedrige NO_x–Bildung aufweisen.

In herkömmlichen öl- oder erdgasbefeuerten Kesseln müssen für die Brenner, über die das Brennstoff-Luft-Gemisch zugeführt wird, Konzepte zur Aufrechterhaltung von Verbrennungs-bedingungen mit niedrigen NO_x-Emissionen angewandt werden. In herkömmlichen Kesseln wird oft auch Steinkohle oder Torf als feiner Staub verbrannt, der über die Brenner zugeführt wird, die bei geeigneter Konzeption eine Verbrennung mit niedrigen NO_x –Emissionen ermöglichen.

Die primäre Verbrennungsluft wird über das Brennstoff-Luft-Gemisch dem Brenner zugeführt. Die sekundäre und tertiäre Luft wird separat zur Aufrechterhaltung eines geeigneten Primär-/Sekundär-/Tertiärluft-Gleichgewichtes in der Flammenzone zur Aufrechterhaltung von Verbrennungsbedingungen mit niedriger NO_x-Bildung zugeführt. Sofern notwendig kann noch etwas Luft über der Flammenzone zur Vervollständigung der Brennstoffverbrennung zugeführt werden.

Der Zweck der mehrstufigen Luftzuführung besteht in der Verbrennung des Brennstoffes ohne Luftüberschuss und heutzutage sogar unter reduzierenden Bedingungen, was Folgendes bedeutet:

- Es ist nicht genug Sauerstoff zur Förderung einer starken NO_x-Bildung vorhanden. Die Flammentemperatur ist niedriger als in herkömmlichen Brennern, was die NO_x-Bildung weiter verringert.
- Ein Teil des gebildeten NO_x wird zurück zu elementarem Stickstoff reduziert, z.B. wenn eine Restmenge des Brennstoffes in der äußeren Flammenzone oder außerhalb der Flamme verbrannt wird.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen und die mehrstufige Luftzufuhr können sowohl in bestehenden als auch in neuen Kesseln eingesetzt werden.

Wenn staubförmige feste Brennstoffe, wie Kohle oder Torf, eingesetzt werden, ist es wichtig, dass sie bei hohem Feuchtigkeitsgehalt zur Unterstützung einer schnellen und effizienten Verbrennung vorgetrocknet werden. Zusätzlich ist dafür die Vorerwärmung der Verbrennungsluft notwendig, um eine schnelle Zündung und vollständige Verbrennung sicherzustellen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Im Vergleich zu herkömmlichen Brennern mit NO_x-Emissionen in Höhe von 250 - 500 mg/MJ können Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen beträchtlich niedrigere Emissionsniveaus in den abgeleiteten Abgasen erreichen. Die erreichten Emissionsniveaus sind in Tabelle 6.24 wiedergegeben und unterscheiden die Arten der eingesetzten Brennstoffe und ob es sich bei den Kesseln um bestehende oder neue Anlagen handelt. Die besten Werte werden durch einige neue Anlagen erreicht. Allgemein erreichbare Werte bedeutet, dass sie in den meisten Anlagen erreicht werden. Die Werte beziehen sich auf einen Sauerstoffgehalt von 3 %, bei Kohle auf einen Sauerstoffgehalt von 7 %.

Parameter	Status	Brennstoff	Allgemein erreichbar (mg/Nm^3)	mg/MJ	Beste erreichbare Werte (mg/Nm^3)	mg/MJ
NO_x	neu	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl [2] Schweröl Kohle	70 - 100 120 - 200 300 - 450 300 [1] - 500	20 - 30 35 - 60 90 - 135 115 [1] - 190	30 -100 150 300 250[1] - 280	9 - 30 45 90 90[1] - 100
NO_x	vorhan-den	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl [2] Schweröl Kohle	70 - 200 150 - 250 400 - 450 300 [1] - 500	20 - 60 45 - 75 115 - 135 115[1] - 190		
SO_2	neu	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl Schweröl Kohle	0 - 35 [3] 350 [3] 850 - 1700 [4] 400 - 2000 [4]	0 - 10 [3] 100 [3] 250 - 500 [4] 150 - 750 [4]	35 [3] 250 [3] 850 [4] 400 -2000 [4]	10 [3] 75 [3] 250 [4] 150 - 750 [4]
SO_2	vorhan-den	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl Schweröl Kohle	0 - 35 [3] 350 [3] 1700 [4] 400 - 2000 [4]	0 - 10 [3] 100 [3] 500 [4] 150 - 750 [4]		
Staub (bei Ein-satz eines Elektrofilters)	neu	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl Schweröl Kohle	0 - 5 keine Daten 50 - 80 [5] < 50	0 – 1,5 keine Daten 15 - 25 [5] < 20	0 - 5 keine Daten 10 - 50 [5] 10 - 50	0 – 1,5 keine Daten 3 - 15 [5] 4 - 20
Staub (bei Ein-satz eines Elektrofilters)	vorhan-den	Erdgas/Biogas Leichtöl/Gasöl Schweröl Kohle	0 - 5 keine Daten 50 - 80 [6] 50 - 150 [6]	0 – 1,5 keine Daten 15 - 25 [6] 20 - 60 [6]		

Anmerkungen:
1 Wirbelschichttechnologie
2 in Abhängigkeit vom N-Gehalt des Brennstoffs
3 in Abhängigkeit vom S-Gehalt des Brennstoffs
4 in Abhängigkeit vom S-Gehalt des Brennstoffs, von der Größe und der Art der Anlage; die Schwefelemissionen von kohle- und ölbefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Kohle und Öl mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine gewisse Reduktion der Schwefelemissionen kann durch die Eindüsung von Kalkstein erreicht werden.
5 in Abhängigkeit vom S-Gehalt und von der Art der Anlage
6 in Abhängigkeit von der Größe der Anlage

Tabelle 6.24: Erreichbare Emissionsniveaus (Tagesmittelwerte) aus Kesseln mit Verfahren mit niedrigen NO_x-Emissionen (es wird nur die Verbrennungstechnologie eingesetzt) und Entstaubung mittels Elektrofiltern [die Angaben basieren auf einer großen Anzahl deutscher Anlagen]

Emissionsmessungen: Die Emissionsmessung mit on-line-NO_x-Messgeräten kann durchgeführt werden. Auch Sauerstoffmessgeräte können dazu beitragen, die Verbrennungsbedingungen mit niedriger NO_x-Bildung aufrecht zu erhalten.

Für genaue Messungen sind Probenahmen vor Ort und Laboranalysen erforderlich.

Verlagerungseffekte: Es treten keine wesentlichen Verlagerungseffekte auf.

Betriebserfahrungen: Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen sind in nachgerüsteten bestehenden Kesseln und bei der Errichtung von neuen Kesseln im Einsatz.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Bei einer Papierproduktion von 1000 t/d betragen die Investitionskosten üblicherweise 0,6 – 0,9 Mio. EUR. Die Betriebskosten erhöhen sich um 0,1 – 0,2 Mio. EUR/a.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Abgasemissionen aus nichtintegrierten Papierfabriken sind hauptsächlich durch die Dampfkessel und Kraftwerke bedingt. Diese Anlagen stellen im Allgemeinen Standardkessel dar und unterscheiden sich nicht von anderen Kraftwerken. Es wird angenommen, dass sie wie alle anderen Anlagen mit der gleichen Kapazität reguliert werden. Brenner mit niedrigen NO_x-Emissionen werden hauptsächlich zur Reduzierung der NO_x-Emissionen aus Hilfskesseln eingesetzt.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Fabriken in Nord- und Westeuropa

Literatur/Quellenangaben:
[J. Pöyry, 1997 b], [Finnish BAT Report, 1997], [Ministry of Education, 1994], [vom deutschen Umweltbundesamt zur Verfügung gestellte Daten, 1999]

6.3.16 Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Es wird auf Abschnitt 5.3.9 verwiesen.

6.3.17 Optimierung der Entwässerung in der Pressenpartie der Papiermaschine (Schuhpresse)

Beschreibung der Technik: Eine Papiermaschine enthält einen riesigen Entwässerungsprozess. Er besteht im Prinzip aus drei Hauptteilen:

- Die Siebpartie für die Blattbildung und für die erste Entwässerung durch Schwerkräfte und Vakuum/Saugung.
- Die Pressenpartie zur weiteren Entwässerung der nassen Papierbahn durch mechanische Kräfte.
- Die Trockenpartie zur Trocknung der Papierbahn auf den endgültigen Trockengehalt durch Verdampfung auf dampfbeheizten Zylindern.

Nach der Pressenpartie (siehe auch Abbildung 6.1) beträgt der Trockengehalt der Papierbahn normalerweise 45 - 50 %, d.h. ungefähr 1 kg Wasser/1 kg Stoffeintrag ist nach der Pressenpartie noch in der Bahn enthalten. Zur Verdampfung dieser letzten "Wassertropfen" werden viel Verdampfungsenergie und eine lange Trockenpartie benötigt.
In einer Papiermaschine wird die meiste Energie für die Papiertrocknung benötigt (572 kWh/t in Form von Dampf). Strom wird für die Rollen- und Zylinderantriebe (100 kWh/t) und zur Vakuumerzeugung (67 kWh/t) benötigt. Je höher der Trockengehalt der Papierbahn nach der Pressenpartie ist, umso niedriger ist die erforderliche thermische Energiemenge für die abschließende Papiertrocknung. Bei einer Erhöhung des Trockengehalts der der Trockenpartie zugeführten Papierbahn um 1 % können ca. 4 % Wärme (in Form von Niederdruckdampf mit ca. 2 bar) eingespart werden. Deshalb müssen in der Papiermaschine Maßnahmen ergriffen werden, um den Trockengehalt in der Nasspressenpartie zu maximieren.

In einem herkömmlichen Walzenpressen-Nip hat der Liniendruck seine höchste Grenze erreicht und kann nicht weiter zur Verbesserung der Entwässerung in der Pressenpartie erhöht werden. Durch den Ersatz von herkömmlichen Engnippressen durch Breitnippressen, so genannten Schuhpressen, kann im Vergleich zu herkömmlichen Walzenpressen ein höherer Druckimpuls erreicht werden, was zu einer intensiveren Entwässerung der nassen Papierbahn und zu einem höheren Trockengehalt der Papierbahn nach der Pressenpartie führt. Der Schuh wird hydraulisch gegen eine Gegenwalze gepresst. Das Pressenkonzept führt im Vergleich zu herkömmlichen Rollenpressen zu einer beträchtlichen Ausdehnung der Pressenzone und der Kontaktzeit im Spalt. Ein hoher Trockengehalt nach der Presse führt zu Einsparungen der Trocknungsenergie und wegen der guten Nassfestigkeit der Papierbahn zu einem guten wirtschaftlichen Betrieb der Trockenpartie.

Anwendbarkeit und Charkaterisierung der Maßnahme: Es handelt sich um eine prozessintegrierte Technik. Die Schuhpresse kann sowohl für neue als auch für bestehende Papiermaschinen für die meisten Papiersorten (außer für Tissue) eingesetzt werden, vorausgesetzt, dass genügend Platz in der Pressenpartie verfügbar ist und die Gebäude-konstruktion das höhere Gewicht einer Schuhpresse aufnehmen kann. Die Fundamente müssen für das größere Maschinengewicht, das mit dem Schuhpressenkonzept verbunden ist, geeignet sein. Die maximale Beladung des Hallenkrans muss in einigen Fällen wegen der schwereren Schuhpressenwalzen erhöht werden. Wegen der hohen zusätzlichen Investitionskosten ist der ökonomische Vorteil im Falle von kleineren Papiermaschinen, sagen wir bei einer beschnittenen Breite von weniger als 2,5 m, zweifelhaft.

Bei druckempfindlichen, grundsätzlich holzfreien Papiersorten ist ein langer Schuh (250 mm) mit niedriger Streckenlast (600 kN/m) von Vorteil. Bei holzhaltigen Papiersorten kann ein kürzerer Schuh (180 mm) mit höherer Streckenlast (800 kN/m) eingesetzt werden.

Die Schuhpresse ist sogar für Hochgeschwindigkeitsmaschinen (heutzutage bis zu 2000 m/min) entwickelt worden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Nutzen für die Umwelt hängt mit den Einsparungen an thermischer Energie für die Papiertrocknung zusammen. Es wird berichtet, dass sich nach der Installation einer Schuhpresse für eine bestehende Papiermaschine zur Herstellung von Verpackungspapier und Pappe der Trockengehalt zwischen 5 und 15 %-Punkten erhöht [IFP, 1998]. Diese Erhöhung hängt natürlich beträchtlich von der früheren Leistungsfähigkeit der umgebauten Pressenpartie und dem gewählten neuen Schuhpressenkonzept ab.

In einem Fall führte der Einbau einer Schuhpresse beim Umbau einer Pressenpartie zu einem Anstieg des Trockengehalts um 6 %. Der spezifische Dampfverbrauch zur Papiertrocknung wurde von 2,13 auf 1,76 t Dampf/t Papier vermindert, was einer Einsparung an thermischer Energie von 18 % entspricht. Die Reduktion der Abgasemissionen aus der Energieerzeugung hängt stark von der Art des eingesetzten fossilen Brennstoffes ab. In der betreffenden Papierindustrie wurden 46000 Tonnen Dampf (entsprechend 5,1 Mio. m^3 Erdgas und einer vermiedenen CO_2-Emission von 8900 Tonnen) jährlich eingespart.

In einer Presse mit Schuh-Nips bleiben die Länge der Pressenpartie, die Anzahl der Komponenten und der Nassfilze sowie die Lebensdauer der Filze mit erhöhter Produktion konstant. Der Schuh-Nip ist ein Nip mit weichen Belägen (Softnip). Es gibt weniger Wartungsbedarf, einen geringeren Filzverbrauch und entsprechend weniger Filzabfall, geringere Schwingungen und Lärm. Dies bedeutet, dass die Emissionen je Tonne Papier geringer sind.

Die Schuhpresse ist ein Instrument zur Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der guten wirtschaftlichen Betriebsweise. Die hohe Effizienz spart Rohstoffe und Energie ein und stellt eine höhere Maschinenverfügbarkeit bei geringerem Abfallanfall sicher. Ein höherer Trockengehalt nach der Presse bedeutet einen geringeren Energiebedarf und somit geringere Emissionen bei der Energieerzeugung.

Bei Papiermaschinen mit begrenzter Trocknungskapazität kann die Reduktion der Blattfeuchtigkeit um jeden Prozentpunkt in eine vier- bis fünfprozentige Produktionserhöhung umgesetzt werden. Wenn die Trocknungskapazität der Papiermaschine nicht begrenzt ist, kann eine entsprechende Reduzierung des Dampfverbrauchs in der Trockenpartie erreicht werden. Es können Dampfeinsparungen in der Trockenpartie von bis zu 170 t/kWh erreicht werden.

Allerdings ist bei einer vorgegebenen Papierdichte die Verbesserung bei der Trockenheit von der Stoffzusammensetzung abhängig. Bei holzfreien Papiersorten ist die Trockenheit nach der Presse bei Einsatz der Schuhpresse um ca. 3 bis 5 Prozentpunkte höher. Bei holzhaltigen Papiersorten liegt die entsprechende Steigerung bei 4 bis 7 Prozentpunkten. Bei hohen Maschinengeschwindigkeiten ist die Differenz mit bis zu 12 Prozentpunkten sogar höher, da mit einer langen Quellzeit im Schuhnip die Trockenheit bei Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit auf einem höheren Niveau verbleibt. Bei holzhaltigen Sorten kann die gesamte Schuhpressenbeladungskapazität genutzt werden, da die besten Papiereigenschaften mit einem hohen Druckniveau im Nip erreicht werden können.

Beim Ersatz einer Walzenpresse mit einer Schuhpresse in einer Papiermaschine beträgt die gesamte Kostenersparnis für die Trocknerenergie 20 bis 30 %.

Verlagerungseffekte: Der Ersatz von herkömmlichen Pressennips mit Schuhnips führt zu keiner beträchtlichen Erhöhung des Strombedarfs. Die Schuhpresse hat einen höheren spezifischen Stromverbrauch, aber ein trockeneres Blatt wird mit weniger Nips hergestellt, was eine gegenseitige Kompensation bedingt. Der verminderte Bedarf an thermischer Energie bedeutet bei einer Berechnung auf Basis von spezifischen Emissionsfaktoren für die Dampferzeugung eine Vermeidung von Abgasemissionen. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Menge an reduzierten Abgasemissionen durch die Art der eingesetzten fossilen Brennstoffe im Kraftwerk beeinflusst wird.

Der erhöhte Trockengehalt nach der Schuhpresse führt zu einem Anstieg der Rohdichte und der inneren Bindekraft des abschließend getrockneten Blattes. Die Beziehung ist nahezu linear. Eine höhere Festigkeit der Papierbahn verbessert wegen weniger Bahnabrissen im Allgemeinen den wirtschaftlichen Betrieb der Papiermaschine. Das Resultat ist eine höhere Papiermaschinen-effizienz. Wenn z.B. nach dem Umbau zu einer Schuhpresse die Anzahl an unvorhergesehenen Bahnabrissen um zwei pro Tag reduziert wird (bei einer Dauer von jeweils 20 Minuten) erhöht sich die tägliche Papiermaschinenproduktion um nahezu 3%.

Wenn die Produktionskapazität einer Papiermaschine durch die Trocknungskapazität begrenzt ist, kann der reduzierte Dampfbedarf für die Trocknung nach Einbau einer Schuhpresse die Erhöhung der Papiermaschinengeschwindigkeit möglich machen. In diesen Fällen kann die Produktion für den gleichen Dampfverbrauch wie vor der Anwendung der Schuhpresse um bis zu 20 % erhöht werden.

Wenn der Dampf in einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage hergestellt wird, führt der niedrigere Dampfbedarf für die Trocknung allerdings zu einer reduzierten Stromerzeugung. Deshalb muss mehr Strom aus dem Netz eingekauft werden. Wenn die Papiermaschinengeschwindigkeit wegen ihrer Antriebe begrenzt ist, trägt der Einbau einer Schuhpresse zu Einsparungen an thermischer Energie und zu einer erhöhten Produktionskapazität der Papiermaschine wegen weniger Papierbahnabrissen und einer erhöhten zeitlichen Papiermaschineneffizienz bei. Ein Beispiel für eine umgebaute Presse gibt es bei Nordland Papier in Deutschland. In der kompakten 3-Nip-Pressenpartie der Maschine zur Herstellung von Kopierpapier wurde der letzte Walzenpressennip durch einen Schuhpressennip ersetzt. Nach dem Umbau war der Trockengehalt nach der Pressenpartie um ca. 3 – 4 Prozentpunkt höher. Gleichzeitig wurde die Produktionsgeschwindigkeit von 850 m/min auf 1200 m/min und die Produktion damit um 30% erhöht. Zum Erreichen dieser Verbesserung des Trockengehalts herrschte eine lineare Streckenlast von 500 - 600 kN/m in der Schuhpresse. Die spätere Produktion brach alle Rekorde und der Umbau der Maschine führte weltweit zur effizientesten Feinpapierlinie. Die Einsparungen beim spezifischen Dampfverbrauch für die Papiertrocknung lagen bei 30 %.

In den letzten Jahren sind weltweit bei mehreren gleichen Umbauten ähnliche Ergebnisse erzielt worden. Mittlerweile bestehen weltweit zahlreiche Anlagen.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Investitionskosten für eine Schuhpresse in einer Papiermaschine mit 5 m unbeschnittener Bahnenbreite betragen ca. 10 Mio. EUR (einschließlich des gesamten Einbaus). Die Betriebskosten einschließlich der Filze, Walzenbeläge, Walzenschliff und Antriebsenergie für die Schuhpresse entsprechen in erster Näherung denen einer herkömmlichen Presse. Die Einsparungen an Dampf für die Papiertrocknung liegen im Bereich von 10 bis 15 EUR/t Dampf, was zu einem spezifischen Dampfverbrauch von 2 t Dampf/t Papier und zu Einsparungen zwischen 20 bis 30 EUR/t Papier führt.

Bei Pressenumbauten beträgt die übliche Amortisationszeit für die Investition ca. 2,5 Jahre, soweit bei der Geschwindigkeitserhöhung keine anderen Grenzen bestehen.

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Technik: Die Gründe für die Einführung der Schuhpresse sind mannigfaltig. Neben verbesserten Festigkeitseigenschaften können wegen des reduzierten Dampfbedarfs für die Papiertrocknung bei konstanter Papierproduktion Kosteneinsparungen erzielt werden oder alternativ dazu kann die Produktionskapazität bei identischen Betriebskosten erhöht werden. Der höhere Trockengehalt führt zu Energie-einsparungen. Das Pressenpartiekonzept kann vereinfacht werden. Die Schuhpresse stellt eine Schlüsselkomponente für die weitere Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit dar. In einer modernen Hochgeschwindigkeitspapiermaschine ist die benötigte Trockenpartielänge wegen einer Schuhpresse in der Pressenpartie um 35 % kürzer. Die besseren Entwässerungseffekte verbessern die Produktqualität (höhere Gleichmäßigkeit des Papiers).

Beispielfabriken: Aufgrund einer höheren Entwässerungskapazität wurde die Schuhpresse erstmals für die Herstellung von Kraftliner Anfang der 80er Jahre eingeführt und ca. 10 Jahre später für andere Papiermaschinen.
Es gibt weltweit einige Umbauten und Hochgeschwindigkeitsmaschinen, bei denen die Schuhpresse als Komponente zum Einsatz kommt. Seit 1997 ist die Schuhpresse Bestandteil von allen neuen Hochgeschwindigkeitspapiermaschinen. Z.B. gingen Anfang 1998 eine neue Maschine zur Herstellung von LWC-Papier in Finnland und eine Maschine zur Herstellung von SC-Papier in Kanada mit einer Schuhpresse an

der dritten Pressennipposition in Betrieb. Ein halbes Jahr nach den Inbetriebnahmen waren diese beiden weltweit die schnellsten LWC- und SC-Papiermaschinen mit einer Produktionsgeschwindigkeit von über 1600 m/min. Im Sommer 1998 ging in den USA eine Maschine zur Herstellung von Feinpapier mit zwei Schuhnips in Betrieb.

Im Bereich von Testliner und Wellenstoff sind in Deutschland folgende Anlagen bekannt (in alphabetischer Reihenfolge): Papierfabrik Adolf Jass/Fulda, Papierfabrik Klingele/Weener, Papierfabrik Schoellershammer/Düren, Papier- und Kartonfabrik Varel/Varel, SCA Packaging Industriepapier/ Aschaffenburg, Stone Europa Carton Aktiengesellschaft Papier- und Kartonfabrik Hoya/Hoya, Zülpich Papier/Zülpich.

Literatur:
[IFP, 1998]; diese Literaturquelle nennt für diese Technik weitere Literaturstellen (nur in Deutsch)

6.3.18 Energieeinsparungen durch energiesparende Technologien

Einleitende Bemerkungen
Innerhalb des Herstellungsprozesses gibt es in vielen Stufen Energieeinsparmöglichkeiten. Normalerweise sind diese Maßnahmen mit Investitionen zum Ersatz, zum Umbau oder zur Modernisierung von Anlagenteilen verbunden. Allerdings werden diese Maßnahmen meistens gerade wegen der Energieeinsparung eingesetzt. Sie genießen besonderes Interesse, weil sie gleichzeitig die Produktionseffizienz erhöhen, die Produktqualität verbessern und die Gesamtkosten reduzieren. Es ist deshalb essenziell, dass die Energieeinspartechniken in alle Aspekte und Ebenen der Papierherstellung einbezogen werden. Die Verbindung zwischen Energiefragen und den Prozessen (synergistische Effekte) muss bei der Diskussion von energieeffizienten Techniken im Hinterkopf behalten werden. Viele von ihnen können zu Vorteilen beim Prozess und zu erhöhter Produktivität führen.

Im Allgemeinen wurden hinsichtlich der energieeffizienten Technologien, die für die Beschreibung der Techniken, die bei der Festlegung der BVT betrachtet werden, die benötigten Informationen in nicht ausreichendem Umfang zur Verfügung gestellt. Außerdem würde eine genaue Beschreibung zu viel Platz in Anspruch nehmen. Deshalb werden einige energieeffiziente Technologien in Tabelle 6.25 ohne detaillierte Beschreibung der Vor- und Nachteile, ohne Darstellung der aktuell erreichten Energieeinsparungen, Verlagerungseffekte und der wirtschaftlichen Angaben für jede einzelne Technik hervorgehoben. Bestenfalls kann die Tabelle 6.25 einen groben Anhaltspunkt für die verfügbaren energieeffizienten Technologien und für das theoretische Verbesserungspotenzial hinsichtlich Wärme- und Stromverbrauch liefern.
Der Umfang, mit dem die Techniken in den einzelnen Mitgliedsstaaten bereits in Betrieb sind, hängt von einer Kombination ab, die die Fortschrittlichkeit der Industrie, die Größe der Fabriken, das Verständnis für betriebliche Energiefragen und die Energiepolitik des betreffenden Landes berücksichtigt.
Die Anwendbarkeit der Energieeinspartechniken wird nicht angesprochen und eine genauere Untersuchung der Details könnte notwendig sein.

Energieeffiziente Technologie	Art des Energiebedarfs und Energiemenge	% der Energie-einsparung und eingesparte Menge	Bemerkungen
Dickstoffauflösung	Strom für Pumpen und Rotoren; 60 kWh/t	33%; 20 kWh/t	wird durch optimales Rotordesign erreicht
Bestes praxisübliches Mahlen	Strom für Antriebsmotoren; 100 -500 kWh/t	20%; 80 kWh/t	hängt von den Produkteigenschaf-ten ab; schwankt zwischen den Sorten und der Stoffzusammen-setzung
Dickstoffblattbildung	Strom; 200 kWh/t	20%; 40 kWh/t	wird bei Altpapier schon angewendet
Doppelsiebblattbildung	Antrieb	keine Daten	wird nicht in erster Linie zur Energieeinsparung eingesetzt
Optimierte Vakuumsysteme	Strom	25%	
Variables Antriebssystem	Strom	keine Daten	
Hocheffiziente Elektromotoren	Strom	keine Daten	
Sorgfältig ausgelegte Elektromotoren	Strom	keine Daten	
Heißpressen oder	Wärme in der Trockenpartie	15 - 20%	meist für Altpapier
Verlängerte Schuhpressen	Wärme in der Trockenpartie	15 - 20%	
Korrektur des Feuchtigkeits-querprofils mit IR-Strahlern	Wärme in der Trockenpartie	1 - 2%	reduziert das Ausmaß der Übertrocknung
Kontrolle der Abluftfeuchte	Wärme	10%	Ermöglicht die Einstellung und die Reduktion der Luftmenge
Wärmerückgewinnung aus der Abluft	Wärme	10%	siehe nachfolgende Beschreibung
Kondensatrückgewinnung	Wärme	10%	Wasser kann zurückgeführt und eingesetzt werden
Direkt gasbefeuerte Luft für die Belüftung	Wärme	40%	Einsatz hauptsächlich für die Haube von Papiermaschinen zur Herstellung von Tissue
Erhöhter Feststoffgehalt nach der Leimpresse	Wärme für die Trocken-partie nach der Leimpresse	Die Trocknungslast kann um 48% reduziert werden	Führt zur Verminderung des Ausschussniveaus

Tabelle 6.25: Stellen, an denen Energieeinsparungen durchgeführt werden können, und Angabe zur Effektivität dieser Maßnahmen [DG XVII, 1992]
Das Energieeinsparpotenzial hängt vom gegenwärtigen Energieverbrauchsniveau einer bestehen-den Fabrik ab.

Die Energieeinsparmöglichkeiten zusammenfassend: Die Bereiche, die sich unmittelbar am meisten für Maßnahmen zur Energieeinsparung anbieten, sind das Mahlen, das Nasspressen und das Trocknen. Sobald das "good housekeeping" jedoch einmal geändert wurde, ist die Trocknung auch der kapitalintensivste zu ändernde Prozess. Sie bietet kleinere Einsparungen, aber auch synergetische Vorteile beim Auflösen, Blattbildung und Leimpressen.

Neben der Auswahl der Technologien stellt die Art und Weise des Betriebes (energieeffiziente Betriebspraxis) und das betriebsinterne Energiemanagement eine wichtige Aufgabe dar. Technische Einrichtungen werden oft nicht mit optimaler Energieeffizienz eingesetzt und mit einem besseren Management können weitere Einsparungen erreicht werden. Die Pinch-Methode kann für die Optimierung der thermischen Integration von Papierfabriken ein nützliches Werkzeug in Richtung energetisch optimierter Prozesse sein.

Erreichte Energieverbrauchsniveaus: In vielen europäischen Ländern liegen nur dürftige öffentlich zugängliche Informationen über Energiebilanzen in Papierfabriken vor. Es werden, wenn überhaupt, unterschiedliche Berichtssysteme für den Energieverbrauch benutzt. Der Energiebedarf hängt auch von der Produktqualität (besonders bei Fabriken zur Herstellung von Tissue) und teilweise von örtlichen Bedingungen ab. Deshalb ist es schwierig, Energieverbrauchswerte vorzustellen, die unter Einsatz von energieeffizienten Technologien erreichbar sind. Tabelle 6.26 gibt berichtete Bereiche für den Energieverbrauch von Papierfabriken wieder. Sie sollten lediglich als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch an Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Papierfabriken dienen. Weitere Beispiele für energieeffiziente Fabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen können möglicherweise der überarbeiteten Version des BREFs hinzugefügt werden.

Art der Fabrik	Prozesswärmeverbrauch (netto) in GJ/t	Energieverbrauch (netto) in MWh/t	Bemerkungen
Nichtintegriert, gestrichenes/ungestrichenes Feinpapier	5,3 [3]	0,62 [3]	Sehr große deutsche Fabrik; die Angaben beinhalten alle Energieverbraucher der Fabrik
Nichtintegriert, ungestrichenes Feinpapier	7,0 - 9,0 [1]; 7,0 - 7,5 [2] *; 6,5 - 8,0 [3]	0,7 - 0,8 [1]; 0,6 - 0,7 [2] *; 0,55 - 0,6 [3]; 0,5 - 0,65 [4]	[3] = österreichische Fabrik
Nichtintegriert, gestrichenes Feinpapier	10,0 - 11,0 [1] 7,0 - 7,5 [2] *	1,1 -1,3 [1]; 0,6 - 0,7 [2] *; 0,65 - 0,9 [4]	
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstellung von Tissue	6,5 - 7,5 [1] 5,5 - 6,0 [2]	0,9 - 1,1 [1]; 1,0 - 1,1 [2]; 0,5 - 2 [4]	[4] Zur Herstellung von Tissue weisen einige neue Anlagenteile einen höheren Energieverbrauch auf
Anmerkungen: * [2] gibt nur allgemein eine Zahl für Feinpapier an			

Tabelle 6.26: Angaben von mit BVT erreichte spezifische Energieverbräuche für unterschiedliche Arten der Papierherstellung
Angaben von [1] Jaakko Pöyry, 1998, [2] SEPA Report 4712, [3] Fabrikfallstudien, [4] Angaben von einem Lieferanten

Die nachfolgend beschriebene Technik sollte lediglich als Beispiel für mögliche Energieeinsparungen durch energieeffiziente Technologien aufgefasst werden. Mit Wärmetauschern wird die Energie in der Abluft aus der Trockenpartie der Papiermaschine zurückgewonnen, was, zusammen mit dem Mahlen, die wichtigste Stufe bei den Betrachtungen zum Energieverbrauch darstellt. Weitere Beispiele können der zukünftigen Überarbeitung des BREFs hinzugefügt und weiterentwickelt werden.

Beispiel: Energieeinsparungen mit Wärmerückgewinnungssystemen

Beschreibung der Technik: Der Zweck des Wärmerückgewinnungssystems besteht darin, den Verbrauch der Fabrik an Primärenergie durch Nutzung von Abwärme aus dem Prozess in wirtschaftlich profitabler Weise zu nutzen. Nahezu die gesamte in einer Papierfabrik verbrauchte Wärmeenergie wird für die Papiertrocknung eingesetzt, weshalb die Trockenpartie der größte Energieverbraucher in einer Papiermaschine ist. Ungefähr 80 % der in der Trockenpartie benötigten Energie wird den Trocknungszylindern als Primärdampf zugeführt, der Rest mit der Trocknungs- und Leckageluft sowie mit der Papierbahn.

Nahezu die gesamte aus der Trockenpartie abgeführte Energie ist in der Abluft enthalten. Ungefähr 50 % dieser Energie, d.h. um 620 kWh/t Papier können mit einem effizienten Wärmerückgewinnungssystem (unter Winterbedingungen) zurückgewonnen werden.

Bei den üblichen Anwendungen werden entweder Luft/Luft-Wärmetauscher oder Luft/Wasser-Wärmetauscher, jeweils in Plattenbauweise, eingesetzt (bei einigen Anwendungen werden auch Wäscher verwendet). Der Luft/Luft-Wärmetauscher wird vor allem für die Zuführungsluft für die Trockenhaube und für die Maschinenhallenbelüftungsluft verwendet. Die gebräuchlichste Anwendung für den Luft/Wasser-Wärmetauscher ist die Erwärmung von Kreislaufwasser bzw. von Prozesswasser. Diese Wärmetauscher sind Teil der Wärmerückgewinnungstürme. In Abbildung 6.20 ist ein Beispiel für die kombinierte Wärmerückgewinnung, bei der zuerst die Haubenzuführungsluft und dann das Kreislaufwasser erhitzt werden, wiedergegeben.

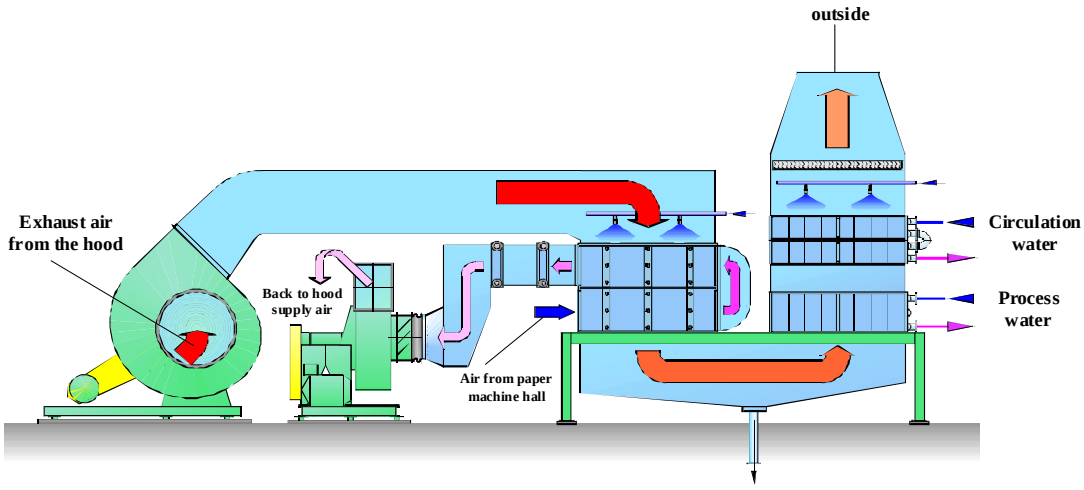


Abbildung 6.20: Beispiel für einen Energierückgewinnungsturm
Air from paper machine hall = Luft aus der Papiermaschinenhalle; Back to hood supply air = zurück zu der der Haube zugeführten Luft; Circulation water = Kreislaufwasser; Exhaust air from the hood = Abluft von der Haube; outside = außerhalb; Process water = Prozesswasser

Normalerweise wird nur ein Teil der zurückgewonnenen Energie mit der Haubenzuführungsluft zur Trockenpartie zurückgeführt. Das meiste der zurückgewonnenen Wärme wird außerhalb der Trockenpartie zur Erwärmung von Prozesswasser, Siebwasser und der Maschinenhallen-belüftungsluft genutzt.

Anwendbarkeit und Charakterisierung der Maßnahme: Diese Technik kann sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen angewendet werden, wenn bei den Prozessen Luftvolumenströme mit hohem Energiegehalt anfallen und es einen Wärmeenergiebedarf für verschiedene Zwecke gibt. Wärmetauscher für die Erwärmung von Haubenzuführungsluft sind immer anwendbar. Ob die Wärmerückgewinnung zur Erwärmung von Kreislaufwasser (zur Erwärmung der Maschinenhalle) oder von Prozessabwasser eingesetzt werden kann, hängt von den spezifischen Produktionsverhältnissen und den klimatischen Bedingungen ab. Wegen der Wechselwirkung zwischen den einzelnen Systemteilen kann ein optimales Wärmerück-gewinnungssystem nur durch Analyse des gesamten Wärmerückgewinnungssystems erreicht werden.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Es werden beträchtliche Mengen an Primärdampf eingespart, was entsprechend eine niedrigere Umweltbelastung durch die Dampferzeugung bedeutet. Der erreichte Nutzen hängt unter anderem von den klimatischen Bedingungen ab.

Die wichtigen Energieflüsse einer Trockenpartie einer üblichen Maschine zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier, die mit Luft/Luft- und Luft/Wasser-Wärmerückgewinnungsanlagen ausgestattet ist, sind in Abbildung 6.21 dargestellt. Die meiste Wärme wird mit dem Kreislaufwasser zurückgewonnen, das wiederum hauptsächlich zur Erwärmung der Luft für die Gebäudebelüftung eingesetzt wird. Eine andere wichtige Stelle für den Einsatz von rückgewonnener Wärme ist die Erwärmung von Prozesswasser (z.B. für die Spritzrohre) und für das Siebwasser. Die Erwärmung von Siebwasser ist bei Holzstofffabriken nicht einsetzbar, aber z.B. für Altpapier verarbeitende Fabriken. Die Zuführungsluft für die Trockenpartie wird immer mittels eines Wärmerückgewinnungssystems erwärmt.

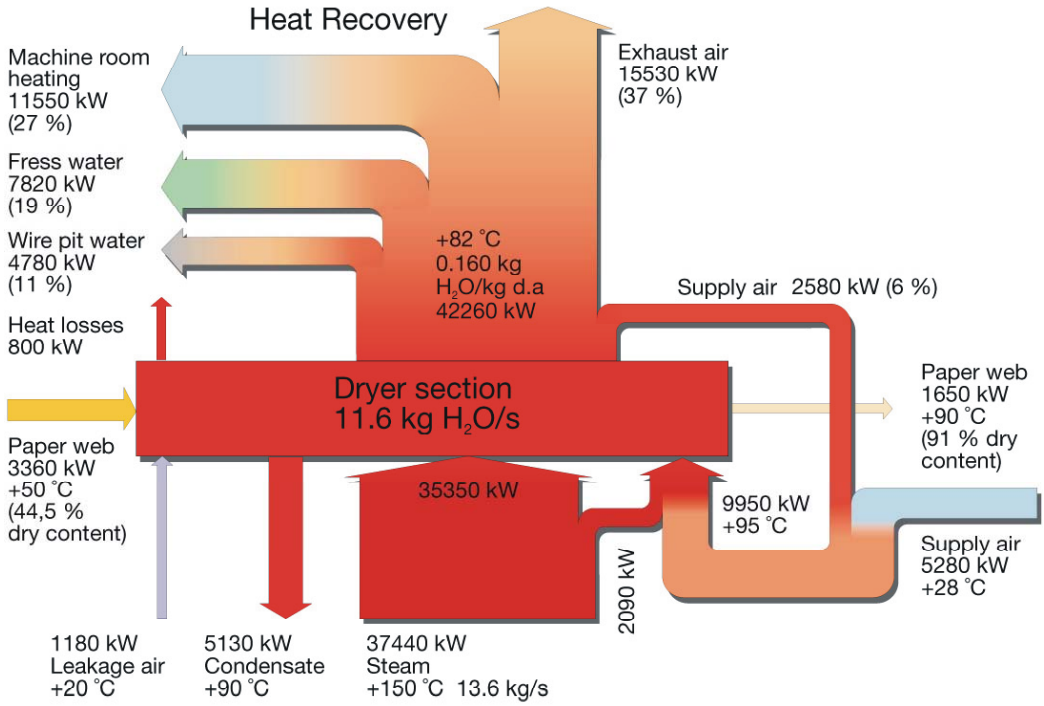


Abbildung 6.21: Sankey-Diagramm für eine Maschine zur Herstellung von Zeitungsdruckpapier (980 t/d)
Condensate = Kondensat; dry content = Trockengehalt; Dryer section = Trockenpartie; Exhaust air = Abluft; Fresh water = Frischwasser; Heat losses = Wärmeverluste; Heat recovery = Wärmerückgewinnung; Leckage air = Leckageluft; Machine room heating = Maschinenhallenheizung; Paper web = Papierbahn; steam = Dampf; supply air = zugeführte Luft; wire pit water = Siebwasser

Überwachung: Die vorbeugende Wartung trägt zur Vermeidung von unnötigen und teuren Betriebsstillständen bei.

Verlagerungseffekte: Es sind keine wesentlichen Verlagerungseffekte bekannt. Die Energieeinsparmaßnahmen sollten vorzugsweise auf einer genauen Energiebilanz der gesamten Fabrik einschließlich von Energieflussdiagrammen und alternativen Prozessvarianten fußen. Es besteht ein sehr enger Zusammenhang zwischen den Wasser- und Energiesystemen.

Betriebserfahrungen: In Abhängigkeit von den Maschinenlieferanten sind verschiedene Arten von Wärmerückgewinnungssystemen verfügbar. Das optimale Wärmerückgewinnungssystem für die spezifischen Anforderungen jeder einzelnen Papierfabrik muss für den jeweiligen Einzelfall individuell ausgearbeitet werden. Die Wärmetauscher sind normalerweise mit Wascheinrichtungen zur Aufrechterhaltung einer sauberen Oberfläche und zur Vermeidung von Verstopfungen ausgerichtet.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Wärmerückgewinnungssysteme haben normalerweise kurze Amortisationszeiten. Es ist nicht immer wirtschaftlich, so viel Wärme wie möglich zurückzugewinnen. Die spezifische Situation muss immer untersucht werden. Die Lösung hängt von den spezifischen Energiekosten je kWh für Brennstoff, Dampf und Strom ab.

Wichtige Gründe für die Einführung dieser Technik: Die Gründe liegen in der Energieeinsparung und in der Reduzierung der Tröpfchen- und Nebelbildung.

Anlagenbeispiele: Zahlreiche Anlagen in Europa

Literatur: Prospekte von Maschinenlieferanten, [DG XVII, 1992], [Energy Efficiency Office, verschiedene Publikationen zwischen 1991 und 1997]

6.3.19 Maßnahmen zur Lärmreduzierung

Beschreibung der Technik: Die industriellen Lärmquellen können grob in interne und externe Lärmquellen eingeteilt werden. In einer Papierherstellungsstraße ist die Anzahl von internen Lärmquellen groß (siehe Abschnitt 6.2.2.8). Eine mögliche Maßnahme für die Reduzierung des internen Lärms ist z.B. der Einbau von neuen geschlossenen Hauben mit besserer Schallisolierung. Allerdings wird dies nicht weiter dargestellt, weil es außerhalb des Geltungsbereiches dieses Dokumentes (Arbeitsplatzbereich) liegt. Beispiele für die externe Lärmreduzierung sind der Einbau von absorptiven Schalldämpfern und/oder Rohrresonatoren für die Verminderung der Lärmpegel von den Abluftventilatoren und Vakuumpumpen, Schalldämpfer und Schallisolationshauben für die Gebläse auf dem Gebäudedach. Nachfolgend werden zwei Beispiele detaillierter dargestellt.

Die Lärmminderungsmaßnahmen sollten vorzugsweise auf die wichtigsten Lärmquellen konzentriert werden, besonders auf alle Öffnungen in Dächern und Wänden. Die wichtigsten externen Lärmquellen einer Papierfabrik sind die Prozessbelüftung (kontinuierlich), die Maschinenhallenbelüftung (kontinuierlich), der Auslass der Vakuumpumpenabluft (kontinuier-lich) und das Dampfabblasen (nur gelegentlich). Zusätzlich gibt es eine Vielzahl von anderen Lärmquellen, besonders in alten Fabriken, in denen die Schallisolierung der Maschinen nicht in geeigneter Weise durchgeführt wurde.

Bei der Planung und beim Betrieb der Anlagen müssen auch notwendige Maßnahmen zur Lärmvermeidung während der Planungsphase mit in Betracht gezogen werden. Es ist gewöhnlich am effektivsten, Akkustikexperten zur Beratung hinzuzuziehen. Bei der Einführung von Lärmminderungsmaßnahmen sollten folgende technische Aspekte berücksichtigt werden:

- Einholen von Informationen über die Lärmemissionen von Maschinen, Anlagen und Anlagenteilen zu einem frühen Zeitpunkt.
- Einsatz von lärmarmen Maschinen und Prozessen.
- Verminderung der Lärmerzeugung und Übertragung.
- Verminderung der Schallemissionen, z.B. durch Einsatz von Schallabsorbern.
- Unterhaltung des Maschinenparks und der Einrichtungen zur Lärmminderung und Larmüberwachung.

Der Ausgangspunkt für Lärmminderungsmaßnahmen sind die behördlichen Anforderungen, die von der Lage der Fabrik (Abstand zur Nachbarschaft, Freizeit- oder Industriegebieten) und den im jeweiligen Land bestehenden Anforderungen abhängen. Die Immissionspunkte (Bezugspunkte) können an der Fabrikgrenze und/oder an verschiedenen Stellen des Wohngebietes eingerichtet werden. Die Zielwerte in den Wohngebieten müssen normalerweise immer erfüllt werden, wenn neue Maschinenausrüstungen eingebaut werden. Allerdings müssen auch bestehende Lärmquellen immer häufiger wegen der zunehmend strengeren Anforderungen vermindert werden.

Das Abstellen von Lärmquellen ist in den meisten Fällen relativ teuer. Konzeptionelle Aspekte und die Ausarbeitung von Lärmminderungsmaßnahmen sind deshalb zu einem frühen Zeitpunkt eines Projektes sehr wichtig. Wenn bestehende Lärmquellen reduziert werden müssen, können für Schalldämpfer und schallisolierte Einhausungen hohe Kosten entstehen.
Es ist wichtig, den Lärm an der Quelle zu reduzieren. Dies ist jedoch nicht immer möglich. In diesen Fällen können schallisolierte Einhausungen für lärmträchtige Anlagenteile oder Schall-dämpfer notwendig werden. Bei der Dimensionierung von Schalldämpfern muss die Art der Lärmquelle bekannt sein.

Im nachfolgenden Abschnitt über erreichbare Emissionswerte werden zwei Beispiele für die externe Lärmminderung durch Installation von Lärmdämpfern dargestellt. Die Anforderungen zur Lärmminderung betreffen unterschiedliche Häufigkeitsbereiche.

Anwendbarkeit der Maßnahme: Externe Lärmminderungsmaßnahmen können sowohl in bestehenden als auch in neuen Fabriken eingesetzt werden. Es ist hauptsächlich das Vorgehen zur Bestimmung der gegenwärtigen und zukünftig zu erzielenden Lärmpegel, das dabei den Unterschied ausmacht.

Bei bestehenden Maschinen beginnt das Vorgehen zur Lärmminderung mit Lärmmessungen an den Immissionspunkten (Bezugspunkten) im Wohngebiet. Die Messungen gehen in der Fabrik zur Identifizierung

der kritischsten Lärmquellen weiter. Die Dimensionierung eines Schalldämpfers beruht auf der wechselweisen Betrachtung von Messungen und Berechnungen.

Bei neuen Anlagen basiert der Schallleistungspegel auf den Angaben zum Schallleistungspegel der Maschinenlieferanten. Die Berechnungen zur Vorhersage der Lärmpegel an Immissions-punkten werden mit Hilfe von Computerprogrammen zur Lärmausbreitung, z.B. nach VDI 2714, einschließlich des Beitrags von allen relevanten Lärmquellen durchgeführt.
Bei bestehenden Fabriken kann das Layout der Lösungen durch räumliche Begrenzungen etwas anders aussehen.

Wichtigste erreichte Emissionswerte/Umweltnutzen: Der Umweltnutzen durch externe Lärmminderungsmaßnahmen wird anhand von zwei Beispielen dargestellt.

Beispiel 1: Einbau eines absorptiven Schalldämpfers (in einer französischen Papierfabrik)

In diesem Fall sind die Zielwerte für die äquivalenten, A-bewerteten Schallleistungspegel in den an die Papierfabrik angrenzenden Teilen des Dorfes tagsüber 65 dB(A) und nachts 55 dB(A). Messungen der Lärmquellen haben aufgezeigt, dass der Beitrag der Abluftventilatoren der geschlossenen Haube mit am größten war. Berechnungen haben gezeigt, dass eine Verminderung des Lärms von diesen Ventilatoren um 15 dB(A) zur Erreichung des Zielpegels bei Nacht von 55 dB(A) an den Bezugspunkten ausreichen würde.
Der Lärm von Gebläsen kann als breites Lärmband charakterisiert werden, weshalb absorptive Schalldämpfer in diesem Fall geeignet sind. Absorptive Schalldämpfer sind bei mittleren und höheren Frequenzen wirksam. Die Ventilatoren sind außerhalb angebracht, weshalb sie auch eine Schallisolierung brauchen. Abbildung 6.22 zeigt die vor und nach dem Schalldämpfereinbau gemessenen Lärmpegel an einem Immissionspunkt (einschließlich der Schallisolierung).

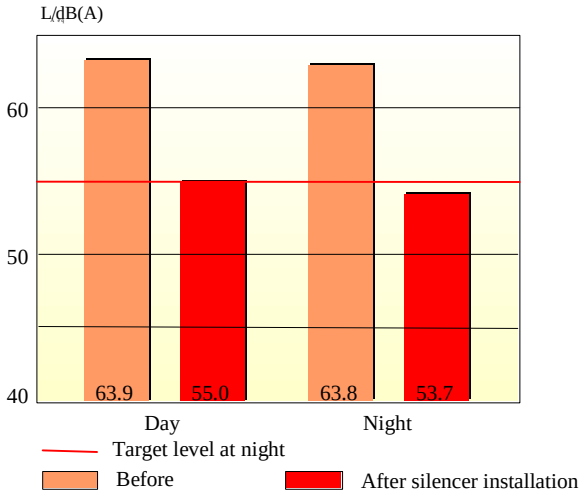


Abbildung 6.22: Bewertete Schallpegel L_{Aeq} an einem Bezugspunkt
After silencer installation = nach Einbau des Schalldämpers; Before = vorher; Day = bei Tag; Night = bei Nacht; Target level at night = Zielpegel bei Nacht

Beispiel 2: Einbau eines reaktiven Schalldämpfers (in einer deutschen Papierfabrik)

In diesem Fall verursachten die Lärmemissionen der Vakuumpumpen einer Papiermaschine zu hohen Lärm am Bezugspunkt außerhalb des Fabrikbereiches. Die Messungen von Schallleistungspegeln in 1

Meter Entfernung vom Auslass der Vakuumpumpe ergaben, wie in Abbildung 6.23 dargestellt, einen Lärmspitzenwert bei einer Frequenz von 160 Hz. Diese Spitze war über 10 dB(A) höher als bei allen anderen Frequenzen. Reaktive Schalldämpfer (z.B. Rohrresonatoren) sind für niedrige Frequenzen (unter 500 Hz) wirksam und wurden in diesem Fall eingebaut. Die Messungen nach Einbau des Schalldämpfers wiesen nach, dass der Spitzenlärmpegel wirksam um ca. 28 dB(A) reduziert und der Zielwert am Immissionspunkt in Höhe von 26,9 dB(A) erreicht wurde.

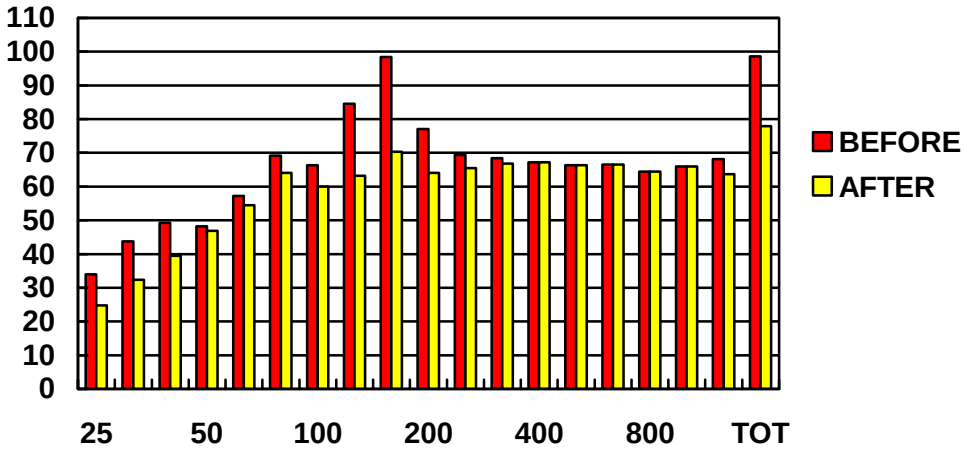


Abbildung 6.23: Verminderung mittels Rohrresonator; Lärmpegel vor und nach Einbau des Schalldämpfers
AFTER = nachher; BEFORE = vorher
Ordinate: Schalleistungspegel in [dB(A)]; Abszisse: Frequenz in [Hz]

Wenn der Zielwert bei 1 Meter Entfernung vom Auslass von Ventilatoren- oder Vakuumpumpen niedriger ist, wird eine Kombination aus reaktiven und absorptiven Schalldämpfern benötigt. Es werden auch spezielle schallisolierte Einhausungen für außerhalb angebrachte Ventilatoren benötigt.

Emissionsmessungen: Es dürfte von Vorteil sein, die Lärmpegel von Zeit zu Zeit (z.B. einmal pro Jahr) zur Feststellung, ob die Schalldämpfer zu reinigen sind, zu messen. Dies wird jedoch normalerweise in Papierfabriken nicht durchgeführt.

Verlagerungseffekte: Die Schalldämpfer können den Druckverlust der Abluft erhöhen, was zu einem leichten Anstieg des Energieverbrauchs (kWh/t Papiers) der Ventilatoren führt. Der zusätzliche Energieverbrauch ist jedoch nicht beträchtlich.

Betriebserfahrungen: Schalldämpfer sind in vielen europäischen Fabriken erfolgreich im Einsatz. Die Wartung besteht aus regelmäßiger Reinigung und der Wechsel des Absorptionsmaterials ist dann, sofern überhaupt, erforderlich, wenn die Abluft Feuchtigkeit und Staub enthält.

Angaben zur Wirtschaftlichkeit: Die Angabe von genauen Zahlen zu den Kosten für die Lärmminderung ist sehr schwierig, da die Kosten von der Größe der Fabrik, der hergestellten Papiersorte und der Papiermaschinengeschwindigkeit etc. abhängen. Die gesamten Lärmminderungskosten (extern und intern) einer Papierherstellungsstraße werden in der Größenordnung von 0,5 % der Investitionskosten der Maschinen oder sogar höher in Abhängigkeit von den vorgegebenen Lärmpegeln geschätzt [Valmet].

Die Kosten für die externe Lärmminderung für eine Papiermaschine liegen in Abhängigkeit vom Zielpegel und vom Lieferumfang in der Größenordnung von 0,2 – 0,4 Mio. EUR.

Abbildung 6.24 zeigt die relativen Kosten der externen Lärmminderung. Wenn die Zielvorgabe für den Schallleistungspegel von 85 dB(A) auf 75 dB(A) vermindert wird, verdoppeln sich die Kosten.

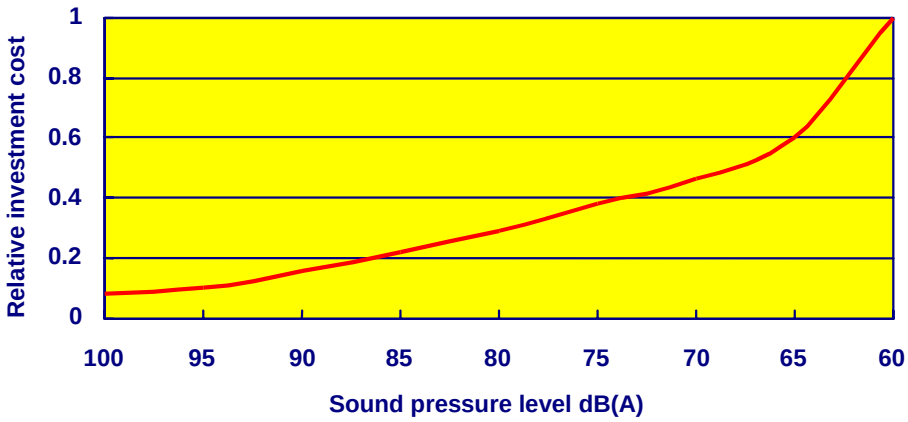


Abbildung 6.24: Relative Kosten für die externe Schallminderung [nach Valmet].
Relative investment cost = relative Investitionskosten; Sound pressure level = Schallleistungspegel

Wichtiger Grund für die Einführung dieser Techniken: Aus der Sicht der Gesundheit stellt Lärm eines der schwerwiegendsten Umweltprobleme dar. Sehr viele Menschen in der EU sind schädlichem Lärm ausgesetzt. Offizielle Anforderungen in den verschiedenen Ländern haben zusammen mit EU-Verordnungen zu erhöhten Anforderungen an die Lärmvermeidung/-minderung auf der Stufe der Maschinenkonzeption geführt. Sie haben aber auch Lärmgrenzwerte für bestehende Einrichtungen und für die externe Lärmminderung festgelegt. In Abhängigkeit von der Art des durch die Lärmeinwirkungen von Papierfabriken betroffenen Gebietes müssen, z.B. in Deutschland, folgende Lärmpegel zur Vermeidung von schädlichen Lärmeinwirkungen in der Nachbarschaft erreicht werden:

Tagsüber	nachts	Art des Gebietes in der Nähe der Papierfabrik
70 dB(A)	70 dB(A)	Industriegebiet
65 dB(A)	50 dB(A)	Handels- und Geschäftsareal
50 dB(A)	35 dB(A)	Wohngegend
45 dB(A)	35 dB(A)	Gebiete mit speziellen (öffentlichen) Einrichtungen, z.B. Krankenhäuser

Tabelle 6.27: Beispiel für in der Nachbarschaft von Papierfabriken erreichbare Lärmpegel (Anforderungen in Deutschland)

Allerdings ist der Schwankungsbereich für die externen Lärmpegelvorgaben in den unterschiedlichen EU-Mitgliedsstaaten groß. Die Erklärungen für die großen Schwankungen liegen im Abstand der Fabrik vom Wohngebiet, bei der unterschiedlichen Bevölkerungsdichte, der Verkehrdichte, den Umweltzielen etc..

Anlagenbeispiele: In den meisten europäischen Fabriken werden unterschiedliche Arten, Konzeptionen und Anzahl von Schalldämpfern eingesetzt. In zahlreichen Anlagen in Europa sind allgemeine Maßnahmen zur Lärmminderung umgesetzt.

6.4 Beste verfügbare Techniken

6.4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seiner Inhalte wird der Leser auf das Vorwort verwiesen, das für alle BREFs einheitlich ist, insbesondere auf den fünften Abschnitt dieses Vorworts "Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken mit den damit unmittelbar verbundenen Emissions- und Verbrauchswerten (oder -bereichen) sind das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, das folgende Stufen beinhaltet:

- Identifizierung der wesentlichen Umweltaspekte/-probleme; für nichtintegrierte Papierfabriken haben die größte Bedeutung der Wassereinsatz, die Abwassereinleitung (CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, N, P, AOX), der Energieverbrauch (Dampf und Strom), feste Abfälle wie Rejekte, Schlamm und Asche, Abgasemissionen aus der Energieerzeugung (SO_2, NO_x, CO_2, Staub), Lärm und Abwärme im Abwasser; die drei zuletzt genannten Punkte stehen für lokale Auswirkungen.
- Bewertung der Techniken, die zur Lösung dieser Probleme am geeignetsten sind.
- Identifizierung der besten Umweltleistungen auf Basis der in Europa und weltweit verfügbaren Daten.
- Ermittlung der Bedingungen, unter denen diese Umweltleistungen erreicht werden können. Diese beinhalten u.a. Kostenaspekte, Verlagerungseffekte in andere Umweltmedien und die wichtigsten Gründe für die Einführung dieser Techniken.
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) mit den damit verbundenen erreichbaren Emissions- und/oder Verbrauchswerten, die für diesen Sektor grundsätzlich gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der IVU-Richtlinie gelten.

Bei jedem dieser Schritte sowie bei der Darstellung der Informationen hat die Beurteilung durch Experten die entscheidende Rolle gespielt.

Vor diesem Hintergrund werden die in diesem Kapitel vorgestellten Techniken und, so weit als möglich, die damit erreichbaren Emissions- und Verbrauchswerte als für die gesamte Branche geeignet angesehen. In vielen Fällen geben sie die derzeitige Leistungsfähigkeit und Betriebsweise von Anlagen dieser Branche wieder. Die angegebenen Emissions- und Verbrauchswerte „in Verbindung mit den besten verfügbaren Techniken“ sind so zu verstehen, dass sie für die Branche als solche geeignet sind und Umweltleistungen widerspiegeln, die das Ergebnis der Anwendung der Techniken in diesem Sektor sind. Dabei sind die Kostenaspekte und Umweltvorteile entsprechend der "BVT"-Definition abzuwägen. Die erreichbaren Werte sind jedoch keine Grenzwerte, weder für Emissionen noch für den Verbrauch, und sollten nicht als solche verstanden werden. Es mag Fälle geben, in denen technisch bessere Emissions- und Verbrauchswerte erreicht werden können, die aber wegen der damit verbundenen Kosten oder durch Betrachtung von Verlagerungseffekten in andere Umweltmedien nicht als allgemein gültig für den Sektor angesehen werden. Solche Werte können jedoch in Fällen, bei denen besondere Gründe vorliegen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die Emissions- und Verbrauchswerte müssen im Zusammenhang mit den BVT in Beziehung mit bestimmten Bezugsbedingungen (z.B. Mittelungszeiträume) gesetzt werden.

Das vorstehend beschriebene Konzept “Niveaus im Zusammenhang mit BVT” ist von dem sonst in diesem Dokument verwendeten Begriff “erreichbares Niveau” zu unterscheiden. In Fällen, in denen Werte in Verbindung mit einer besonderen Technik oder einer Kombination von Techniken als "erreichbar" bezeichnet werden, sind sie als Werte zu verstehen, deren Erreichen über längere Zeit in einer sorgfältig ausgelegten und gewarteten sowie in einer gut betriebenen Anlage oder Prozess erwartet werden kann.

Soweit verfügbar sind die Angaben zu den Kosten zusammen mit den im vorangehenden Kapitel beschriebenen Techniken angegeben. Sie geben eine ungefähre Vorstellung zur Größenordnung der betreffenden Kosten. Allerdings hängen die tatsächlichen Kosten einer Technik stark von den speziellen Verhältnissen eines Falles ab, z.B. von Gebühren, Steuern und den technischen Gegebenheiten einer Anlage. Es ist im Rahmen dieses Dokuments nicht möglich, alle diese standortspezifischen Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Sofern Angaben

zu den Kosten nicht verfügbar sind, werden die Schlussfolgerungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Machbarkeit von Techniken auf der Grundlage von Erfahrungen aus bestehenden Anlagen gezogen.

Die in diesem Kapitel grundsätzlich als "BVT" angesehenen Techniken sind der Maßstab, mit dem die Umweltleistung einer laufenden bestehenden Anlage bzw. ein Antrag für eine neue Anlage beurteilt werden soll. Auf diese Weise dienen sie der Festlegung von geeigneten Bedingungen auf der Grundlage der BVT und der Einführung allgemein bindender Vorschriften nach Artikel 9 Absatz 8. Es wird angestrebt, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie die hier dargelegten generellen BVT erreichen oder sogar bessere Umweltleistungen aufweisen. Es wird auch angestrebt, dass bestehende Anlagen sich entsprechend der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit der Techniken im jeweiligen Fall mit der Zeit an die generellen BVT annähern können oder über diese hinausgehen.

Gleichwohl die BREFs selbst keine rechtlich verbindlichen Standards festlegen, bieten sie Informationen als Wegweisung für Industrie, Mitgliedsstaaten und Öffentlichkeit hinsichtlich erreichbarer Emissions- und Verbrauchswerte für bestimmte Techniken. Bei der Festlegung von geeigneten Emissionsgrenzwerten im Einzelfall wird es notwendig sein, die Zielsetzungen der IVU-Richtlinie sowie die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die Herstellung von Papier erfolgt nicht in einem einzelnen Prozess, sondern in einer Abfolge von Grundoperationen, die oft miteinander verbunden sind und voneinander abhängen. Deshalb handelt es sich bei den BVT für Fabriken immer um eine geeignete Kombination von Techniken. Die Prioritätensetzung und die Auswahl von Techniken oder einer Kombination von Techniken hängen von örtlichen Gegebenheiten ab.

Die nachfolgend aufgeführten Techniken sind, soweit nichts anderes vermerkt ist, bei neuen und bestehenden Anlagen anwendbar. Bei Papierfabriken spielt der Umstand weniger eine Rolle, ob es sich um eine neue oder bestehende Fabrik handelt. Papierfabriken sind mehr durch die Tatsache gekennzeichnet, dass die Maschinentechnik umgebaut und weniger als Ganzes ersetzt wird. Die modulare Umrüstung und Entwicklung der Anlagen bedeutet, dass jeder Standort ein einzigartiges Ergebnis der örtlichen Verhältnisse und der Geschichte darstellt. Auf der anderen Seite liegt eine Verknüpfung von Grundoperationen vor, die allen Ländern gemein ist und für alle Papiersorten gilt.

Die Kriterien, die bei der Festlegung der BVT im Einzelfall zu betrachten sind, betreffen die spezifischen Kosten, die für kleine Fabriken relativ höher sind (Wirtschaftlichkeit in Abhängigkeit von der Anlagen-/Betriebsgröße). Andere Faktoren sind die begrenzte Verfügbarkeit von Platz, was für einige ältere Fabriken zutreffen könnte, oder ungeeignete Werkstoffe oder Konzeption von älteren Einrichtungen, die ein höheres Maß an Kreislaufschließung nicht erlauben. Eine höhere Wasserkreislaufschließung geht gewöhnlich mit einem komplexeren System einher, dass überwacht, kontrolliert und verstanden werden muss. In kleineren Fabriken kann manchmal nicht das notwendige Wissen zum effizientesten Betrieb und zur Überwachung komplexerer Verfahrenslösungen verfügbar sein.

6.4.2 BVT für Papierfabriken

Für Papierfabriken werden die nachstehenden Techniken als BVT angesehenen. Die folgende Liste an BVT ist nicht als erschöpfend zu verstehen und jede andere Technik oder Technikkombination, mit der die gleiche (oder bessere) Umweltleistung erreichbar ist, kann ebenso in Betracht gezogen werden; solche Techniken können sich in der Entwicklung befinden oder an der Schwelle der Praxisreife stehen oder bereits verfügbar sein, ohne in diesem Dokument beschrieben zu sein.
Soweit nichts anderes genannt ist, handelt es sich bei den angegebenen Werten um Jahresmittelwerte.

Allgemeine Maßnahmen

1. Training, Ausbildung und Motivation der Belegschaft und der Maschinenführer. Papierfabriken werden von Menschen betrieben. Deshalb kann das Training der Belegschaft ein sehr kostengünstiger Weg zur Reduzierung des Wasserverbrauchs und der Ableitung von gefährlichen Stoffen, wie zum Beispiel bei der betriebsstörungsbedingten Freisetzung von Chemikalien, sein.

2. Optimales Wassermanagement (Wasserkreislaufführung), Wasserklärung durch Sedimentation, Flotation oder Filtrationstechniken und Recycling als Prozessabwasser für verschiedene Zwecke.
3. Zur Aufrechterhaltung der Effizienz der technischen Anlagen in Papierfabriken und den damit verbundenen Anlagen zur Emissionsminderung auf hohem Niveau muss ihre ausreichende Wartung gewährleistet sein.
4. Ein Umweltmanagementsystem, dass klar die Verantwortlichkeiten für die umweltrelevanten Aspekte einer Fabrik definiert. Es erhöht das Bewusstsein und beinhaltet Ziele und Maßnahmen, Verfahrens- und Arbeitsanweisungen, Checklisten und andere relevante Dokumentationen.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abwasseremissionen

1. Weitgehende Minimierung des Wasserverbrauchs für unterschiedliche Papiersorten bei gesteigertem Prozesswasserrecycling und Wassermanagement.
   Die exakte Kenntnis des Wasserverbrauchs und der Wasserqualität für die verschiedenen Einsatzzwecke bilden die Basis für ein gutes Wassermanagement. In Papierfabriken, die BVT umgesetzt haben, wird das Frischwasser hauptsächlich dem Prozess über die Spritzrohrwässer und über die Chemikalienzubereitung zugeführt. Die effizientere Rückgewinnungstechnik für Fasern und Füllstoffe haben es möglich gemacht, das anfallende Klarwasser für weniger kritische Spritzrohre der Papiermaschine einzusetzen und so das Wasserrecycling zu erhöhen. Die gelösten anorganischen und organischen sowie kolloidalen Stoffe haben allerdings den Einsatz dieser Wässer in der Siebpartie begrenzt. Die benötigte Frischwassermenge wird teilweise durch die Konzentration an Verunreinigungen im Prozesswasser bestimmt.
   Die Recyclingquote für Klarfiltrate kann durch die Einführung der Ultrafiltration (UF) als interne Behandlungstechnik für das Kreislaufwasser weiter gesteigert werden. Da diese Technik sich noch in der Entwicklung befindet und sie großtechnisch in Europa nur in einigen wenigen Fabriken im Einsatz ist, wird sie noch nicht als BVT angesehen, obwohl die industriellen Erfahrungen viel versprechend sind. Wegen der bei Einsatz der Ultrafiltration nur teilweisen Entfernung der gelösten Stoffe wird die weitere Erhöhung des Recyclings (z.B. für die Spritzrohre in der Pressenpartie) noch nicht als machbar angesehen. Die Anreicherung von gelösten Stoffen kann den wirtschaftlichen Betrieb, die Papierqualität und die Wirksamkeit der Papierchemikalien beeinträchtigen. Die Kreislaufeinengung des Papiermaschinenwassers würde effizientere Trenntechniken, wie die Nanofiltration oder die Umkehrosmose oder andere ergänzende Techniken, erforderlich machen. Wegen der hohen Kosten, der negativen Verlagerungseffekte (hauptsächlich Energie) und der fehlenden industriellen Erfahrung dieser Techniken werden sie nicht als verfügbar angesehen.
2. Kontrolle der potenziellen Nachteile durch die Wasserkreislaufschließung.
   Die Schließung der Wassersysteme benötigt das Bewusstsein, das Wissen und geeignete Maßnahmen zur Überwachung des Wassersystems. Die Überwachung der mikrobiellen Aktivität, die geeignete Auslegung des Rohrleitungs- und Speichersystems und die Materialauswahl tragen dazu bei, die Oberflächen in sauberem Zustand zu halten und die Notwendigkeit der Wäsche zu reduzieren. Die Prüfung der Recyclingströme durch Messungen und Laboranalysen kann zur Feststellung der aktuellen Leistungsfähigkeit der Trennprozesse und der Qualität des Spritzrohrwassers und anderer Prozesswässer eingesetzt werden.
   Die Erfassung von Daten zu den Wasserflüssen und zum chemischen Zustand der Wassersysteme macht die Prüfung und Kontrolle des Wasserzustandes der ganzen Fabrik und die Ermittlung der besten Betriebsbedingungen für Qualitätswechsel und Anfahr- und Abfahrvorgänge möglich. Es sollten z.B. Betriebsweisen mit großem pH- oder Temperaturgradienten vermieden werden, da diese zu schädlichen Ausfällungen und zur Belagbildung führen würden. Eine Automation ist auch von Vorteil. On-line-Messungen und die genaue Prozesskontrolle sind für eine effektive und stabile Papierherstellung essenziell.
3. Aufbau eines ausgewogenen Speichersystems für das Kreislaufwasser, das (Klar)filtrat und für den Ausschuss und Einsatz von Konstruktionen, Konzeptionen und Maschinen mit reduziertem Wasserverbrauch, sofern praktisch umsetzbar.
   Dies trifft normalerweise dann zu, wenn Maschinen oder Maschinenteile ersetzt oder Umbauten vorgenommen werden.
4. Maßnahmen zur Reduzierung der Häufigkeit und der Auswirkungen von unbeabsichtigten Abwasserableitungen.
   Dies beinhaltet die Fortbildung des Personals für den Fall von unbeabsichtigten Freisetzungen von Chemikalien zur Abwasseranlage und ausreichende Vorsorge-maßnahmen zur Vermeidung von Störfällen.

5. Erfassung und Wiederverwendung von sauberen Kühl- und Sperrwässern oder separate Ableitung.
   Das Recycling von Kühl- und Sperrwässern kann durch den Einsatz von Wärmetauschern oder von einem Kühlturm erhöht werden. Es sind jedoch Kontrollmethoden zur Überwachung der mikrobiellen Aktivität und der Wasserqualität zur Sicherstellung des störungsfreien Betriebes des Systems erforderlich.
6. Separate Vorbehandlung der Streichereiabwässer.
   In den Fällen, in denen eine Rückgewinnung und eine Wiederverwendung der Streichfarben aus den Streichereiabwässern mittels Membrantechnik nicht möglich sind, kann die Flockung dieses konzentrierten Abwasserteilstroms als BVT angesehen werden. Die Ultrafiltrationstrenntechnik wird als eine Maßnahme zur Reduzierung von festem Abfall erwähnt (siehe unten)
7. Substitution von potenziell schädlichen Stoffen durch Einsatz von weniger schädlichen Alternativen.
   Die Reinigungsleistung der Abwasserbehandlung und die Umweltauswirkungen als ganzes können durch den Einsatz von nichttoxischen und besser biologisch abbaubaren Produkthilfsmitteln und Prozesschemikalien verbessert werden.
8. Abwasserbehandlung durch Einbau eines Ausgleichsbeckens und durch primäre Behandlung. Diese Maßnahmen werden bei nahezu allen Papierfabriken angewendet und werden als Regel der Technik angesehen. Sie stellen eine Voraussetzung für den guten und zuverlässigen Betrieb biologischer Abwasserbehandlungsanlagen dar. Als alleinige Technik werden sie nicht als BVT angesehen, mit Ausnahme von ein paar Papiersorten, bei denen sehr niedrige spezifische Abwasserfrachten emittiert werden.
9. Sekundäre oder biologische Abwasserbehandlung und/oder, in einigen Fällen, sekundäre chemische Fällung oder Flockung des Abwassers. Wenn nur eine chemische Fällung angewendet wird, sind die CSB-Ableitungen etwas höher, bestehen aber hauptsächlich aus leicht abbaubaren Stoffen.
   Es gibt viele verschiedene verfügbare Behandlungsmöglichkeiten, mit denen hinsichtlich Reduktion der ins Gewässer eingeleiteten organischen Fracht gute Ergebnisse erzielt werden. Die Wahl der Behandlungsmöglichkeit wird hauptsächlich durch die Zulaufkonzentration, die Abwassercharakteristik und die zu erreichende Reinigungsleistung bestimmt. Die sorgsame Konzeption und Unterhaltung der Abwasserbehandlungsanlage ist eine Voraussetzung für leistungsfähige biologische Systeme. In Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration und dem gewählten Behandlungssystem werden die für die nachfolgend spezifizierten Schadstoffe erreichten Reinigungsleistungen als BVT angesehen:

Ausgangskon-zentration	**Behandlung**	**CSB-Ent-fernung**	**BSB-Ent-fernung**	**AOX-Ent-fernung**	**Abf. St. nach Behandlung**	**Nähr-stoffe**
BSB > 500 mg /l	Tropfkörper + Belebtschlamm	80 - 90 %	95 + x%	30 - 50%	Konzentr. unter 30 mg/l	Zugabe zur ABA
BSB > 500 mg /l	Tropfkörper (Vorbehandlung)	50 - 60 %	60 - 70%	30 - 50%	Hohe Konzentr. um 100 mg/l	Zugabe zur ABA
BSB > 100 mg /l	Belebtschlamm[1)2)]	75 - 90 %	90 - 95 + x %	30 - 50%	Konzentr. unter 30 mg/l	Zugabe zur ABA
BSB > 150 mg /l	Biofiltration	40 - 60%	60 - 80 %	30- 50%	Konzentration: 10 - 30 mg/l	Zugabe zur ABA

ABA = Abwasserbehandlungsanlage
Anmerkungen:
1) Diese Reinigungsleistung wird mit niedrig belasteten Belebtschlammsystemen mit einer Schlammbelastung zwischen 0,1 und 0,2 kg BSB_5/kg TS*d (oder mit einer Aufenthaltszeit von ungefähr einem Tag) erreicht.
2) Bei einigen Anwendungsfällen werden auch für hochbelastete Anlagen gute Reinigungsleistungen berichtet.

Tabelle 6.28: Beispiele für die Reinigungsleistung geeigneter biologischer Behandlungssysteme für Papierabwässer

Die gemeinsame Behandlung des Abwassers einer Papierfabrik oder einer Gruppe von Papierfabriken in einer kommunalen biologischen Abwasserbehandlungsanlage wird auch als BVT angesehen, wenn mit der gemeinsamen Behandlung vergleichbare Reinigungsleistungen erzielt werden.

Die Angabe von Zahlen zur Effektivität der unter den vorgenannten Punkten 1 bis 8 aufgeführten Techniken, die eine biologische Behandlung nicht einschließen, ist schwierig, da leistungsfähige Papierfabriken normalerweise auch eine biologische Behandlung haben und die Emissionen vor der biologischen Behandlung nicht getrennt angeben. Es ist meistens nicht transparent, mit welchen Techniken die mit der primären Behandlung einhergehenden Emissionsniveaus verbunden sind. Für die nachfolgenden Beispiele kann deshalb nicht weiter angegeben werden, auf welchen Techniken sie basieren. Die genannten Fabriken repräsentieren

nicht BVT, sondern stellten einige real existierende Beispiele dar, die einen Hinweis auf die Abwassereinleitungen geben, wenn keine biologische Behandlung eingesetzt wird.

Folglich beziehen sich die Werte in Tabelle 6.29 auf Abwassereinleitungen, bei denen nur die primäre Behandlung (physikalisch-chemische Behandlung) eingesetzt wird.

Fabriken [1)]	CSB [kg O_2/t]	BSB_5 [kg O_2/t]	Abf. St. [kg/t]	Menge [m^3/t]	Produktion 97 [t/d]	Bemerkungen
Fabrik 1, ungestrichenes Feinpapier	8,7	2,2	1,0	32,6	n/v	Keine biologische Behandlung
Fabrik 2, ungestrichenes Feinpapier	6,1	1,3	0,7	37,4	n/v	Keine biologische Behandlung
Fabrik 3, ungestrichenes Feinpapier	5,7	1,3	0,9	42	n/v	Keine biologische Behandlung
Fabrik 4, gestrichenes Feinpapier	3,4	1,1	0,5	13,5	n/v	Flockung und Klärbecken
Fabrik 5, gestrichenes Feinpapier	5,1	1,5	1,0	48	n/v	Flockung und Klärbecken
Fabrik 6, gestrichenes Feinpapier	3,6	1,4	1,4	24	n/v	Flockung und Klärbecken
Fabrik 7, Tissue (Frischfaser)	2,2	0,6	0,3	36	n/v	Flockung und Klärbecken
Fabrik 8 Tissue (Frischfaser, DE)	1,1	0,15	0,002	5	29000	Scheibenfilter
n/v = nicht verfügbar Anmerkungen: 1) Das EIPPCB wurde gebeten, die zur Verfügung gestellten Daten vertraulich zu behandeln.						

Tabelle 6.29: Beispiele für gemessene Jahresmittelwerte für Abwassereinleitungen nach lediglich primärer Behandlung von einigen nichtintegrierten Papierfabriken in einem Mitgliedsstaat (Bezugsjahr: 1997);
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden.

Wegen der fehlenden Transparenz, ob die Fabriken oder nicht (und zu welchem Ausmaß) ohne biologische Behandlung BVT anwenden, werden keine mit dem Einsatz von BVT erreichten Emissionswerte bei ausschließlicher primärer Abwasserbehandlung angegeben.

Tabelle 5.31 gibt erreichbare Emissionsniveaus für einige nichtintegrierte Papierfabriken in Europa wieder, die als leistungsfähig angesehen werden. Es kann angenommen werden, dass sie neben der biologischen Abwasserbehandlung eine geeignete Kombination von BVT einsetzen, aber nicht notwendigerweise alle.

Beispiele für Papierfabriken	Berichtete erreichbare Emissionsniveaus nach biologischer Behandlung						Art der Behandlung
	CSB [kg O_2/t]	BSB_5 [kg O_2/t]	AOX [kg/t]	Abf. St. [kg/t]	Menge [3)] [m^3/t]	Produktion '97 [t/a]	z.B. normal/schwach belastet
Fabrik 1, ungestrichenes Feinpapier, SE	0,63	0,3	n/v	0,2	2,6	150000 (‘98)	Tropfkörper + Fließbettreaktor
Fabrik 2, ungestrichenes Feinpapier, NL	1,5	0,4	n/v	0,3	14	n/v	n/v
Fabrik 3, gestrichenes/ungestrichenes Feinpapier, DE	0,44	0,1	0,0007	n/v	4,5	1000020	Tropfkörper + Belebtschlamm
Fabrik 4, gestrichenes Feinpapier, NL	0,93	0,17	< 0,01	0,23	13,8	n/v	n/v
Fabrik 5, gestrichenes Feinpapier, SE	0,95	0,17	0,0025	0,26	9,53	180000	Fließbettreaktor + chemische Fällung
Fabrik 6, gestrichenes Feinpapier, F	0,4	0,1	n/v	0,2	14	125000	Belebtschlamm
Fabrik 7, gestrichenes Feinpapier, F	0,8	0,3	n/v	0,2	14	125000	Tropfkörper + Belebtschlamm
Fabrik 8, gestrichenes Feinpapier, F	0,4	0,2	n/v	0,4	11,5	160000	Belebtschlamm
Fabrik 9, Tissue (Frischfaser), F	1,5	0,4	n/v	0,2	20	n/v	Belebtschlamm
Fabrik 10 Tissue (Frischfaser), DE	0,67	0,11	0,005	n/v	11,5	97000	Belebtschlamm

Legende: n/v = nicht verfügbar

Tabelle 6.30: Beispiele für erreichte Jahresmittelwerte im Abwasser nach biologischer Behandlung von einigen leitungsfähigen Papierfabriken in Europa (Bezugsjahr: 1997).
Die Liste umfasst ausgewählte Fabriken, von denen Daten verfügbar waren oder zur Verfügung gestellt wurden und kann deshalb nicht als vollständig angesehen werden. Die Daten stammen aus persönlichen Mitteilungen. Die angewandten Analysenmethoden entsprechen denen des jeweiligen Landes. In Schweden werden die BSB-Werte als BSB_7-Werte angegeben.

Unter der Annahme einer geeigneten Konzeption und einer ausreichenden Kapazität der Abwasserbehandlungsanlage sowie eines geeigneten Betriebes und Überwachung werden in der nachfolgenden Tabelle 6.31 die mit einer Kombination aus BVT erreichten Emissionsniveaus angegeben. Die Abwasserfrachten schließen den Beitrag der Zellstoffherstellung nicht ein.

Trotz der riesigen Anzahl an unterschiedlichen hergestellten Arten an Papierprodukten kann die Feststellung getroffen werden, dass Papierfabriken, die BVT umgesetzt haben, relativ ähnliche Abwasseremissionen erreichen. In Anbetracht der Abwassereinleitungen wurden nach geeigneter Behandlung des Abwassers aus den verschiedenen Kategorien der Papierherstellung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Papiersorten festgestellt (mit Ausnahme von solchen aus Spezialpapierfabriken, siehe Abschnitt 6.4.3).

Parameter	Einheiten	Ungestri-chenes Feinpapier[1]	Gestrichenes Feinpapier[2]	Tissue[3]
BSB_5	kg O_2/t	0,15 - 0,25	0,15 - 0,25	0,15 - 0,4
CSB	kg O_2/t	0,5 - 2	0,5 - 1,5	0,4 - 1,5
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4	0,2 - 0,4
AOX	kg/t	< 0,005	< 0,005	< 0,01 [4]
ges-P	kg/t	0,003 - 0,01	0,003 - 0,01	0,003 - 0,015
ges-N	kg/t	0,05 - 0,2 [5]	0,05 - 0,2	0,05 - 0,25
Abwassermenge	m^3/t	10 - 15 [6]	10 - 15	10 - 25 [7]

Anmerkungen:
1) Die Zusammensetzung des Faserstoffs kann zu 100% gebleichter Kraftzellstoff sein und die Füllstoffe und Leime können 10 – 30% ausmachen. Für stark geleimtes Papier kommen für den CSB und den BSB die Werte am oberen Ende der Bereiche in Betracht.
2) Die Zusammensetzung des Faserstoffs kann zu 100% gebleichter Kraftzellstoff sein und die Füllstoffe und die Streichfarbe können 20 - 40% ausmachen. Die Papierveredlung besteht sowohl aus der Leimung als auch aus dem Einsatz von Streichfarben.
3) Die Zusammensetzung des Faserstoffs besteht zu 100% aus zugekauftem Zellstoff. Für Tissue, das aus einer Fasermischung aus recyclierten Fasern und Frischfasern hergestellt wird, siehe auch Kapitel 5.4.2
4) Der höhere AOX-Wert kann durch Nassfestmittel, die chlorierte organische Stoffe enthalten, verursacht werden
5) Bei gefärbten Papiersorten können die Stickstoffemissionen bei Einsatz von stickstoffhaltigen Azofarbstoffen höher sein.
6) Bei Fabriken, die gefärbte oder stark gefärbte Papiersorten herstellen kann der Frischwasserverbrauch normalerweise nicht unter 17 m^3/t gebracht werden.
7) Ein Wechsel des Flächengewichts und der Papiermaschinengeschwindigkeit hat eine bedeutende Auswirkung auf den spezifischen Wasserverbrauch. Niedrigere Flächengewichte (bis zu 12 g/m^2) und niedrigere Geschwindigkeiten korrespondieren mit einem höheren spezifischen Wasserverbrauch.

Tabelle 6.31: Mit BVT erreichte Jahresmittelwerte für die Abwasseremissionen aus nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von ungestrichenen Feinpapieren, gestrichenen Feinpapieren und zur Herstellung von Tissue

Die Emissionsdaten beziehen sich auf integrierte Altpapier verarbeitende Papierfabriken. Allerdings gibt es eine wachsende Anzahl von europäischen Fabriken, die nur teilweise integriert sind, d.h. für einen Teil der Stoffzusammensetzung gibt es eine Zellstoffproduktion, während die anderen Anteile aus zugekauftem Zellstoff bestehen. In diesem Falle sind die entsprechenden Anteile der Emissionen aus der Zellstoffherstellung zu denen aus der Papierherstellung hinzuzuaddieren.

Tabelle 6.31 sollte im Zusammenhang mit folgenden zusätzlichen Erklärungen verstanden werden:

BSB: Sofern die Einhaltung des geeigneten C:P:N-Verhältnisses und die ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet sind, wird der BSB im Abwasser aus Papierfabriken in sorgfältig ausgelegten Behandlungsanlagen fast vollständig (95 + x%) entfernt. Bei Betriebsstörungen und wenn einige Betriebsparameter immer mehr von den Zielvorgaben abweichen, beginnt die Erhöhung der BSB-Konzentration. Dies macht die Einstellung der Betriebsparameter und/oder die Analyse der Biomasse erforderlich. Die BSB_5–Niveaus liegen gewöhnlich unter 25 mg O_2/l und können Werte bis zu 5 mg O_2/l erreichen (nahezu vollständige Entfernung). Allerdings sind BSB_5–Werte unter 5 mg O_2/l in genauer und reproduzierbarer Art und Weise schwer zu messen. In Abhängigkeit von der Abwassermenge korrespondiert dies mit BSB_5-Emissionsfaktoren von < 0,15 kg O_2/t (bei 10 mg O_2/l und einer spezifischen Abwassermenge von 15 m^3/t) bzw. von 0,25 kg O_2/t (bei 25 mg O_2/l und einer spezifischen Abwassermenge von 10 m^3/t).

CSB: Das Abwasser aus Papierfabriken weist nach Behandlung in Abhängigkeit von den hergestellten Papiersorten, den angewandten Techniken zur Vermeidung und Reduzierung von Emissionen und dem spezifischen Wassereinsatz eine CSB-Konzentration zwischen 50 – 150 mg O_2/l auf.

Abfiltrierbare Stoffe: Bei normalen Betriebsverhältnissen ist das Abwasser nach der zweiten Sedimentationsstufe völlig klar und weist einen Gehalt an abfiltrierbaren Stoffen im Bereich von 20 bis 30 mg/l auf. Dies entspricht Emissionsfaktoren von 0,2 – 0,4 kg abf. St./t. Die Werte hängen von der Oberflächenbeschickung der zweiten Sedimentationsstufe und den Eigenschaften des Belebtschlammes ab. Mit der Biofiltration sind normalerweise auch niedrigere Werte erreichbar.

AOX: Heutzutage ist die Ableitung von chlororganischen Verbindungen sehr niedrig, da der zugekaufte, in nichtintegrierten Papierfabriken eingesetzte Zellstoff entweder ECF- oder TCF-gebleichter Zellstoff ist. Die Belebtschlammbehandlung führ zu einer weiteren AOX-Reduktion zwischen 30 und 50 %. Allerdings wird diese Reduktion zum Teil durch Strippung dieser Verbindung im Laufe der Abwasserbehandlung erreicht. In Abhängigkeit vom zugekauften Zellstoff und den Chemikalienzusätzen leiten Papierfabriken chlorierte organische Verbindungen in einer Menge von unter 0,005 kg/t ein.

N und P: Zur Einhaltung des C:P:N-Verhältnisses, das für das Wachstum des Belebtschlammes von entscheidender Bedeutung ist, müssen für die biologische Behandlung gewöhnlich mineralische Nährstoffe zugeführt werden. Um das Gleichgewicht zwischen biologisch abbaubaren Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorverbindungen zu finden und aufrecht zu erhalten, ist eine bestimmte Feineinstellung der Nährstoffzugabe erforderlich. Normalerweise wird Phosphor als Phosphorsäure und Stickstoff in Form von Harnstoff zugegeben. Sofern das System gut optimiert ist, betragen die erreichbaren Nährstoffemissionen unter 1 mg ges-P/l und 5 mg ges-N/l. Die entsprechenden Frachten liegen bei 0,003 – 0,01 kg P/t bzw. bei 0,05 – 0,2 kg N/t.

Maßnahmen zur Reduzierung der Abgasemissionen

Die Abgasemissionen aus nichtintegrierten Papierfabriken sind hauptsächlich durch Dampfkessel und Kraftwerke bedingt. Bei diesen Anlagen handelt es sich grundsätzlich um Standardkessel, die sich nicht von allen anderen Kraftwerken unterscheiden. Es wird angenommen, dass sie wie alle anderen Anlagen gleicher Kapazität rechtlich geregelt werden. Deshalb werden die im Allgemeinen anerkannten BVT in diesem Abschnitt nur kurz erwähnt.

1. Einsatz von Verfahren mit niedrigen NOx-Emissionen in Hilfskesseln
2. Reduktion der SO2-Emissionen aus Dampfkesseln durch Einsatz von Öl und Kohle mit niedrigem Schwefelgehalt oder durch Verminderung der Schwefelemissionen
3. Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung
4. Einsatz erneuerbarer Energiequellen, wie Holz oder Holzabfall, zur Reduzierung der fossilen CO2-Emissionen (nur anwendbar, wenn die Papierherstellung in die Zellstoffherstellung aus Frischfasern integriert ist)

Die mit den BVT erreichbaren Emissionsniveaus aus Hilfskesseln, in denen fabrikeigene Biobrennstoffe und/oder andere fossile Brennstoffe verbrannt werden, sind in Tabelle 6.32 zusammengestellt. Es ist anzumerken, dass Hilfskessel in der Zellstoff- und Papierindustrie von sehr unterschiedlicher Größe sein können (von 10 bis über 200 MW). Bei kleineren Kesseln können zu vernünftigen Kosten nur die Verwendung von Brennstoff mit niedrigem S-Gehalt und Verbrennungstechniken zum Einsatz kommen, während für größere Anlagen auch Verminderungstechniken in Frage kommen. Dieser Unterschied spiegelt sich in der folgenden Tabelle wider. Die obere Grenze der angegebenen Bereiche gilt für kleinere Anlagen und kann ausschließlich durch die Brennstoffqualität und durch interne Maßnahmen erreicht werden; die untere Grenze (in Klammern) ist mit zusätzlichen Verminderungsmaßnahmen wie SNCR verbunden und kommt als BVT nur für größere Anlagen in Frage.

Emittierte Stoffe	Kohle	Schweröl	Gasöl	Gas	Biobrennstoffe (z.B. Rinde)
mg S/MJ Brennstoff-einsatz	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	100 - 200 [1] (50 - 100)[5]	25 - 50	< 5	< 15
mg NO_x/MJ Brenn-stoffeinsatz	80 - 110 [2] (50 - 80 SNCR)[3]	80 - 110 [2] (50 - 80 SNCR)[3]	45 - 60 [2]	30 -60 [2]	60 - 100 [2] (40 - 70 SNCR)[3]
mg Staub/Nm^3	10 - 30 [4] bei 6% O_2	10 - 40 [4] bei 3 % O_2	10 - 30 bei 3% O_2	< 5 bei 3% O_2	10 - 30 [4] bei 6% O_2

Anmerkungen:
1) Die Schwefelemissionen aus öl- oder kohlebefeuerten Kesseln hängen von der Verfügbarkeit von Öl oder Kohle mit niedrigem S-Gehalt ab. Eine bestimmte Reduzierung der S-Emissionen kann durch Einblasen von Calciumcarbonat erreicht werden.
2) Bei ausschließlichem Einsatz der Verbrennung
3) Sekundärmaßnahmen wie SNCR werden auch eingesetzt; nur bei größeren Anlagen
4) Erreichte Werte bei Einsatz von Elektrofiltern
5) Bei Einsatz eines Wäschers; wird nur bei größeren Anlagen eingesetzt

Tabelle 6.32: Abgasemissionsniveaus bei Einsatz der besten verfügbaren Techniken für verschiedene Brennstoffe

Die spezifischen Abgasemissionen je Tonne Papier sind standortspezifisch. Die Unterschiede bei den spezifischen Abgasemissionen werden durch zwei Hauptaspekte verursacht: Der Art der Energieversorgung einschließlich des eingesetzten Brennstoffs und der angewandten Abgasminderungstechnik und der verbrauchten Menge an Dampf und Strom je Tonne Produkt. Die Papiersorte, die spezifischen Energieanforderungen für das Erreichen einer bestimmten Papierqualität und der Einsatz von energieeffizienten Technologien haben einen Einfluss auf den spezifischen Dampf- und Strombedarf.

Der erste Aspekt, die Wahl zwischen Gas, Öl oder Kohle, Holz oder Strom hängt sehr von den vorherrschenden wirtschaftlichen Bedingungen ab; es dürfte außerhalb des Geltungsbereiches dieses Dokumentes liegen, welcher dieser Brennstoffe BVT repräsentiert. Allerdings wird der Einsatz von Erdgas dann als BVT angesehen, wenn die Erdgasversorgung zugänglich ist und die wirtschaftlichen Bedingungen seinen Einsatz zulassen. Bei Einsatz von Öl wird ein Schwefelgehalt von 1 % oder weniger als BVT angesehen.

Der Energiebedarf von effizienten Fabriken wird nachfolgend dargestellt.
Aus der Kombination des Dampf- und Stromversorgungssystem, der Auswahl des Brennstoffes, der angewandten Minderungstechniken und des Energieverbrauchs können die produktspezifischen Emissionen abgeleitet werden.
Für gestrichene Papiersorten wird die sorgfältige Auswahl der Streichfarbenrezepte als BVT angesehen. Durch diese Maßnahme kann die Emission an flüchtigen organischen Stoffen und einigen kritischen Einzelstoffen wie z.B. Acrylnitril oder Formaldehyd, die in Abgas von Streichmaschinen auftreten können, vermieden oder reduziert werden. Es sind besonders Streichfarbenrezepte zu vermeiden, die karzinogene Stoffe enthalten.

Maßnahmen zur Reduzierung von festen Abfällen

1. Weitestgehende Verminderung des Anfalles von festen Abfällen und, soweit wie möglich, ihre Rückgewinnung, Rückführung und ihr Wiedereinsatz.
2. Separate Erfassung der Abfallfraktionen am Ort ihrer Entstehung und, falls erforderlich, Zwischenlagerung von Reststoffen/Abfall, um einen größeren Anteil wieder zu verwenden oder zu recyclieren anstelle sie zu deponieren.
3. Reduktion der Faser- und Füllstoffverluste.
   Früher und in alten Papierfabriken stellten Sedimentationsbecken die vorherrschende Technik dar. Die Trenneffizienz kann durch Scheibenfilter oder einer Mikroflotationsanlage beträchtlich verbessert werden.
4. Rückgewinnung und Recycling von Streichereiabwässern.
   Die Anwendung der Ultrafiltration für die Rückgewinnung von Streichereiabwasser hat sich in vielen Fabriken als erfolgreich erwiesen und es sind geringfügige oder keine negativen Effekte bezüglich der Herstellung von Fein- und Kunstpapierqualitäten bei Einsatz des Konzentrates für den Vorstrich berichtet worden. In Fabriken zur Herstellung von Magazinpapier können kleine Mengen an Ultrafiltrationskonzentrat ohne Nachteile für die Qualität eingesetzt werden. Allerdings ist bei Einsatz dieser Techniken eine Menge an technischen und logistischen Aspekten zu berücksichtigen, was ihr Einsatz für kleinere Fabriken schwierig macht.

5. Schlammvorbehandlung (Entwässerung) vor der weiteren Verwertung oder endgültigen Entsorgung. Es sind verschiedene Techniken zur Entwässerung der Rückstände und des Schlammes verfügbar. Der resultierende Trockensubstanzgehalt hängt von der Charakteristik des Schlammes und den angewandten Entwässerungstechniken ab. Höhere Trockensubstanz-gehalte bedeuten normalerweise geringere Transportmengen und einen höheren Heizwert des Schlammes, was besonders bei der Verbrennung der Rückstände der Fall ist. Für den Fall der endgültigen Entsorgung könnte der Entwässerung die biologische Stabilisierung vorangehen.
6. Reduktion der Menge an zu deponierendem Abfall. Ausfindigmachen von Möglichkeiten für Rückgewinnungsmaßnahmen und, wenn machbar, stoffliche Wiederverwendung des Abfalls oder Verbrennung mit Energierückgewinnung.
   In einigen Fällen (z.B. bei Tissue-Fabriken), wenn die Menge an zu deponierendem Abfall durch Verbrennungstechniken reduziert wird, ist der Einsatz von Stützbrennstoff oder die Zugabe von Rückständen mit höherem Heizwert (z.B. Rinde, Holzabfall) erforderlich.

Die Menge an zu deponierendem Abfall hängt hauptsächlich vom Ausmaß der Verwertung und der gewählten Behandlungstechniken ab. Die Auswahl der Behandlungstechniken wird durch Faktoren, wie die lokale Infrastruktur, durch die Kosten und durch den Wettbewerb mit Rückständen aus anderen Industrien beeinflusst. Es kann festgestellt werden, dass es wenig detaillierte und verlässliche Informationen zu erreichbaren Mengen an festen Abfällen gibt. Es fehlen statistische Daten und es werden in Europa verschiedene Begriffe für unterschiedliche Abfallfraktionen verwendet. Deshalb wird davon Abstand genommen, Werte für die produktspezifischen Mengen an festem zu deponierendem Abfall anzugeben.

Energiesparmaßnahmen

Im Allgemeinen wird in diesem Industriesektor der Einsatz von energieeffizienten Technologien als BVT angesehen. In vielen Stufen innerhalb des Produktionsprozesses sind zahlreiche Optionen zur Energieeinsparung verfügbar. Üblicherweise sind diese Maßnahmen mit Investitionen für den Ersatz, den Umbau oder die Modernisierung von Anlagenteilen verbunden. Wegen des Großbetriebsvorteils sind kleinere Fabriken weniger in der Lage, in neue energieeffiziente Technologien zu investieren. Es ist anzumerken, dass Energieeinspar-maßnahmen meist nur zur Energieeinsparung eingesetzt werden. Die Produktivität, die Verbesserung der Produktqualität und die Reduktion der Kosten insgesamt bilden die wichtigste Grundlage für Investitionen. Energiespartechnologien sind deshalb als solche Techniken anzusehen, die Bestandteil vieler weiterer Aspekte der Papierherstellung sind.

Zur Reduktion des Energieverbrauchs stehen folgende Maßnahmen zur Verfügung:

1. Einführung eines Systems zur Erfassung des Energieeinsatzes und der Effektivität des Energieeinsatzes. Auf der Grundlage zuverlässiger Informationen hinsichtlich der Effektivität des Energieeinsatzes können geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Ein Energiemanagement beinhaltet die Festlegung, die Überwachung, die Überprüfung und die Überarbeitung von Zielen für den effektiven Energieeinsatz.
2. Effektivere Entwässerung der Papierbahn in der Pressenpartie der Papiermaschine durch Einsatz der Schuhpressentechnologie (dies ist bei Fabriken zur Herstellung von Tissue nicht anwendbar).
3. Einsatz von energieeffizienten Technologien, wie z.B. die Dickstoffauflösung, das beste praxisübliche Mahlen, die Doppelblattbildung, optimierte Vakuumsysteme, drehzahl-gesteuerte Antriebe für Gebläse und Pumpen, hocheffiziente Elektromotoren, gut bemessene Elektromotoren, die Dampfkondensatrückgewinnung, die Erhöhung der Feststoffe beim Leimpressen oder Wärmerückgewinnungssysteme für die Abluft.
4. Reduktion des Einsatzes von Direktdampf durch sorgfältige Prozessintegration unter Einsatz der Pinch-Analyse.

In vielen europäischen Ländern sind öffentlich zugängliche Informationen über die Energiebilanz von Papierfabriken nur spärlich verfügbar. Es sind unterschiedliche Berichtssysteme im Einsatz. Auch hängt der Energiebedarf von der Produktqualität (z.B. dem Ausmaß der Mahlung) und teilweise von den örtlichen Bedingungen ab. Deshalb ist es schwierig, die mit den BVT erreichbaren Energieverbrauchswerte anzugeben. Die in Tabelle 2.466.33 enthaltenen Bereiche für den Energieverbrauch von Papierfabriken sollten nur als Richtschnur für den ungefähren Verbrauch von Prozesswärme und Strom in energieeffizienten Holzstoff- und Papierfabriken genommen werden. Weitere Beispiele für energieeffiziente Fabriken einschließlich der spezifischen Bedingungen könnten der überarbeiteten Version dieses BREFs hinzugefügt werden.

Art der Fabrik	Prozesswärmeverbrauch (netto) in GJ/t	Stromverbrauch (netto) in MWh/t
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstellung von ungestrichenem Feinpapier	7,0 - 7,5	0,6 - 0,7
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstellung von ungestrichenem Feinpapier	7,0 - 8	0,7 - 0,9
Nichtintegrierte Fabrik zur Herstellung von Tissue	5,5 – 7,5[1)]	0,6 - 1,1
Anmerkungen: 1) In Fabriken zur Herstellung von Tissue hängt der Energieverbrauch hauptsächlich vom eingesetzten Trocknungssystem ab. Die Durchblastrocknung und das Kreppen benötigt beträchtliche Mengen an zusätzlicher Prozesswärme von bis zu 25 GJ/t [nach ETF]		

Tabelle 6.33: Anhaltswerte für den mit den BVT erreichbaren spezifischen Energieverbrauch für unterschiedliche Arten der Papierherstellung

Es ist anzumerken, dass der Dampfverbrauch in Abhängigkeit von der Fabrikgröße zwischen 10 – 25 % höher sein kann. Der Stromverbrauch kann in Abhängigkeit von der Fabrikgröße zwischen 5 – 20% höher sein. Der Mahlgrad hat auf den Energiebedarf auch eine wesentliche Auswirkung.

Lärmminderungsmaßnahmen

1. BAT ist die Reduktion der wahrnehmbaren Lärmpegel in der Nachbarschaft der Papierfabriken. Die eingesetzten Maßnahmen hängen in großem Umfang von den spezifischen Lärmproblemen einer Fabrik und von den gesteckten Zielen ab. Normalerweise sind umso aufwändigere Maßnahmen erforderlich, je näher die Fabrik in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Wohngebiet liegt.

Chemikalieneinsatz

Für den Chemikalieneinsatz wird im Allgemeinen folgendes als BVT angesehen:
1. Sicherstellung der Verfügbarkeit einer Datenbank für alle eingesetzten Chemikalien und Additive, die Informationen zur chemischen Zusammensetzung der Stoffe, zur Abbaubarkeit, zu ihrer Toxizität für Mensch und Umwelt und zum Bioakkumulations-potenzial enthält.
2. Anwendung des Substitutionsprinzips, d.h. Einsatz von weniger gefährlichen Produkten bei gegebener Verfügbarkeit.
3. Maßnahmen zur Vermeidung betriebsstörungsbedingter Freisetzungen von Chemikalien in den Boden oder ins Wasser beim Umgang und der Lagerung von Chemikalien.
   Konzeption und Betrieb der Einrichtungen in solcher Weise, dass diese gefährlichen Stoffe nicht in die Umwelt gelangen können.

6.4.3 BVT für spezielle Papierfabriken

Fabriken zur Herstellung von Spezialpapieren stellen eine extrem diversifizierte Gruppe dar, die eine hohe Anzahl an unterschiedlichen Produkten abdecken. Oft handelt es sich um kleinere Fabriken, aber viele von ihnen überschreiten den Schwellenwert für eine IVU-Genehmigung (20 t/d). Die Faserstoffzusammensetzung für individuelle Produkte können beträchtlich variieren und können gebleichten und ungebleichten Zellstoff, chemische und mineralische Fasern oder andere Fasern (z.B.: Baumwolle, Leinen, Hanf, Jute, Stroh, Lumpen oder Algen) beinhalten.

Andererseits sind die meisten Techniken, die im Allgemeinen als BVT für Papierfabriken angesehen werden, auch auf diese Fabriken anwendbar, aber oft in unterschiedlichem Ausmaß. Für die Abwasseremissionen werden nachfolgend einige zusätzlich Erklärungen gegeben.

Andererseits weisen einige der Produkte von Spezialpapierfabriken spezifische Umwelt-probleme (wie z.B. Einsatz von Lösungsmitteln, von spezifischen Additiven, von Farben, von sehr hohen Frischwassermengen etc.) auf. Die besten verfügbaren Techniken für diese Spezialfälle werden in diesem Dokument nicht beschrieben.

Die biologische Abwasserbehandlung wird für Spezialpapierfabriken mit höheren organischen Frachten, die z.B. durch intensives Mahlen (währenddessen ein Teil der organischen Stoffe gelöst wird) oder durch eingesetzte chemische Additive, die schlussendlich im Abwasser landen, verursacht werden, als BVT angesehen. Für andere Fabriken kann die organische Fracht für eine biologische Behandlung zu niedrig sein. Bei Spezialpapierfabriken sind ähnliche Konzentrationswerte für den BSB (25 mgO_2/l) und abfiltrierbare Stoffe (20 - 40 mg/l) wie für andere Papierfabriken erreichbar. Die resultierende, ins Gewässer eingeleitete Fracht – dies schließt die organischen Frachten, ausgedrückt als CSB, ein – ist im Vergleich zu anderen Papierfabriken wegen der größeren Wassermengen oft höher.

Die spezifische eingesetzte Wassermenge kann in Abhängigkeit von den Produkteigenschaften und den eingesetzten Prozessen beträchtlich schwanken. Aber auch Spezialpapierfabriken haben Möglichkeiten zur Minimierung des Wasserverbrauchs. Allerdings kann das Wasser nur in begrenztem Umfang wegen der Produktionstechnologie des Papiers (z.B. erhöhte Temperaturen wegen des intensiven Mahlens), der Qualitätsanforderungen an die individuellen Papiersorten (z.B. elektrische Leitfähigkeit, Transparenz etc.) oder wegen der Unverträglichkeit einiger in verschiedenen Wasserkreisläufen gelösten Papierchemikalien recycliert werden. Spezialpapiere werden oft auch in kleineren Mengen hergestellt mit mehr als einem Sortenwechsel (z.B. Flächengewicht, Zusammensetzung, Farbe, Breite) pro Tag und Papiermaschine. Beispielsweise kann eine Spezialpapierfabrik mehr als 5 Wechsel pro Tag haben. In Abhängigkeit von den Qualitätsanforderungen kann eine vollständige Entleerung und Reinigung des Wassersystems nach einem Wechsel erforderlich sein.
Einige Spezialpapierfabriken setzen eine große Bandbreite von Additiven zur Ereichung bestimmter Produkteigenschaften ein. Diese Chemikalien können Stoffe beinhalten, die chlorierte organische Verbindungen oder organisch gebundenen Stickstoff enthalten, was zu höheren Emissionen an Nährstoffen und AOX führt.

Die in Tabelle 6.34 dargestellten Emissionsbereiche basieren nicht auf der gleichen Informationsgrundlage wie die entsprechenden Emissionsniveaus für andere Papiersorten, wie sie in diesem Dokument dargestellt sind. Sie sollten vielmehr als Richtschnur für Emissionsniveaus dienen, wie sie aus einigen Arten von nichtintegrierten Spezialpapierfabriken zu erwarten sind.

Parameter	Einheiten	Bereich
BSB_5	kg/t	0,15 - 1,3
CSB	kg/t	0,4 - 7,0
Abfiltrierbare Stoffe	kg/t	0,3 - 1,0
AOX	kg/t	< 0,005 - 0,01
Ges-P	kg/t	0,01 - 0,04
Ges-N	kg/t	0,15 - 0,4
Abwassermenge	m^3/t	15 - 50 [1)]
Anmerkungen: 1) Der spezifische Frischwasserverbrauch überschreitet manchmal 100 m^3/t		

Tabelle 6.34: Anhaltswerte für zu erwartende Emissionswerte für einige Arten von nichtintegrierten Fabriken zur Herstellung von Spezialpapieren auf Basis von zugekauftem Zellstoff

6.5 Emerging Techniques

In this section, some “promising techniques” are addressed that can not (yet) be considered BAT due to the stage of development of these techniques. Nevertheless, in due time, they may qualify as BAT and therefore they are described briefly here. It should be noted that the description of promising techniques in this chapter is not intended to give a complete overview of all relevant developments.

Introduction
Recent developments and anticipated technology shows that the paper mill of the future can be probably described by the following characteristics:

- Decrease in paper mill water consumption and specific emissions by means of increasing water re-use, closed water loops and internal water treatment
- Increase in electricity consumption (specific to production)
- Decrease in paper mill noise level

Dynamic simulation and total site integration tools will provide new help in complex optimising task to manage the entire paper mill process. Automation and "intelligence" in paper machines will increase rapidly and become embedded in the paper machine. Sensors for instance will predict paper properties with help of few appropriate measurements and this will enable fast and efficient control of the process e.g. in grade change situations. New measuring methods are needed to manage fast processes. Besides consistency and flows measurements also on-line chemistry monitoring systems will become tools for process optimisation.

Cost of investing in new, more complex technologies is a significant factor in paper mills' profitability and is in favour of big units. The current trend to big mills is expected to continue. Increasing effectiveness and decreasing of emissions go hand in hand. The complexity of water treatment technologies tends to increase. To take care of these techniques and maintain them properly is again a challenge for smaller mills.

In the following sections promising novel techniques for reduction of raw material use and emissions are presented. These techniques are still under development. Some are currently researched with a promising perspective for future applications, others run already on full scale in a few applications.

Information include a short description of the technique, an assessment of the status of development, environmental benefits and cross-media effects, economical considerations, if data are already available, and a reference.

6.5.1 Minimum effluent paper mills - optimised design of water loops and advanced wastewater treatment technologies

Description: Advanced wastewater treatment in pulp and paper industry is mainly focused on additional biological- membrane-reactors, membrane filtration techniques such as micro-, ultra- or nano-filtration, ozone treatment and evaporation. Due to relatively less full-scale experience, sometimes relatively high costs and increased complexity of the water treatment, there are only a few full-scale applications of tertiary treatment of wastewater mill effluent up to now.

However, these techniques especially have a potential to be applied as in-line treatment as so-called "kidneys" to eliminate well aimed those substances that negatively interfere with the efficiency of paper production or paper quality.

An example of how to apply a combination of membrane filtration, ozonation and evaparation for process water treatment in a paper mill are shown in Figure 6.25. However, the choice and arrangement of the kidneys in the production process has to be determined case by case.

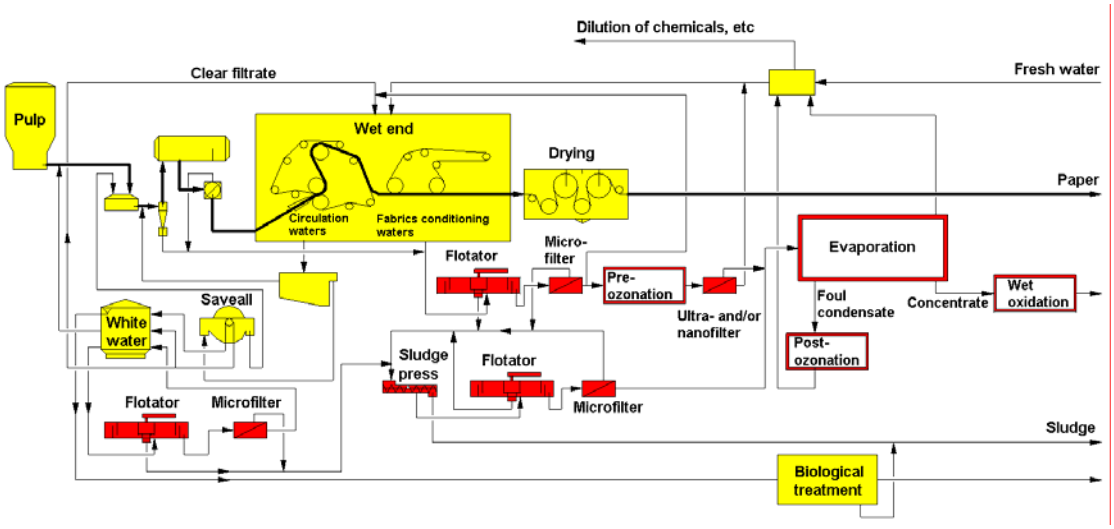


Figure 6.25: Toolbox for possible internal treatment and reuse of paper machine waters [Edelmann, 1997]

Status of development: Some of these techniques are only applied in pilot-scale. Full-scale experiences in paper mills are limited to a few examples in the world. Depending on the technique applied there are still operation problems and relatively high costs. The latter depend on the application and the local conditions.

However, when building new mills or upgrading and increase capacity of existing mills these techniques can be considered seriously. This techniques for water reclamation can also be used to reduce the fresh water consumption in existing mills without having the intention of completely closing the water system. It is expected that these techniques will have further applications in the paper industry in the near future. There is a trend to shift from end-of-pipe treatment to in-line treatment of partial streams of the process water. It can be expected that the pioneers using these techniques are located at recipients where they face very strict requirement or where the water body does not allow increasing the pollutant load. If this mills wishes to increase capacity they have to apply one or the other of the above mentioned techniques.

The status of water treatment technologies in paper industry can be summarised as the following:

- Save-alls filters (common technique). The output of super clear filtrate for re-use can be increased
- Flotation (industrially proven)
- Washing presses (industrially proven)
- Reject and sludge de-watering technique (industrially proven)
- Conventional biological treatment in different variants as e.g. activated sludge (single-stage or two-stage, with and without carrier material), trickling filter (combined with activated sludge), stand-alone submerged biofilters (one- or two-stage) or combined with activated sludge. All these techniques can be considered as industrially proven.
- Biological in-line treatment (first industrial applications realised)
- Pre-filtration + membrane filtration (UF, NF) (first industrial applications realised)
- Pre-filtration + evaporation (first industrial applications realised). If fresh water is replaced with evaporated water there are probably no effects on chemistry and on papermaking.

- Ozonation (first industrial application are to be expected soon). If fresh water is replaced with partially purified water there is a potential of built-ups of disturbing substances. For example, the inorganic salts are not affected and they can interact with process chemicals and equipment. Ozonation is still considered as relatively expensive and less expensive techniques must be developed. These potential effects have to be controlled and the knowledge on the water quality needed have to be increased.
- Enzymatic treatment of process water (under research phase)

Environmental implications: The objective of advanced waste/process water treatment technologies is usually to further remove pollutants that are not removed by common biological treatment as for instance by use of activated sludge plants. Those pollutants are residual COD, colour, nutrients or suspended solids. Advanced water treatment processes produce a high water quality. As a consequence there is a better chance to re-use the "effluent" in the process as fresh water. Thus, advanced wastewater treatment can contribute to further water system closure. However, it can also be applied to achieve lower discharge loads to the recipient.

Very often it is a significant increase of capacity of mills that give the incentive to look for new technical solution with less pollution. Some authorities in Europe require that the amount of effluent and waste of mills that wants to increase capacity must not exceed the level before the investment. This means that new ways had to be found to decrease the fresh water usage and to minimise the amount of solid waste.

Economical considerations: No data available

Literatur:
[Edelmann, 1997], [Borschke, 1997]

6.5.2 Impulse technology for dewatering of Paper

Description: The driving force in developing new dewatering techniques in pulp and paper industry, as impulse technology, has been improvements in paper properties. This technology also has the potential for energy saving.

Impulse technology may provide opportunities to achieve high solids content after the impulse unit and thus saving heat energy for subsequent drying. In an ordinary press section the paper web reaches a dryness of about 40 %. In extended nip presses the web may reach dryness levels of about 50 %. From impulse drying, some reports have stated dryness levels of 55-65% before the drying section, which gives a possibility to decrease the heat consumption. Higher dryness levels means that less water has to be evaporated in the drying section by means of steam, and the drying section could be made smaller (shorter). The technology is also expected to provide a smooth paper surface with a high mechanical integrity and a sheet that retains a high bending stiffness. This combination of properties is of great value both in packaging materials and in printing papers.

Impulse technology tries to combine pressing and drying into a single compact process. The wet paper web is exposed to an intense impulse of heat energy under pressure between a press element and a heated element in a paper machine. This induces a sudden increase of the surface temperature of the paper to considerably higher temperatures than employed in traditional technology.

When the paper web gets into contact with the hot surface, generated steam starts to displace water in the paper web. The hot side of the web will be compressed due to thermal softening and may be subject to chemical modification. The web enters a second impulse stage immediately after the first unit. In the second stage, which acts from the reverse side, water is

displaced in the reverse direction. The two impulse steps must be adequately balanced to produce a symmetrical sheet.

Status of development: Some different concepts have been investigated and tried under various names such as hot pressing or pressure drying. The development work is still at an early stage.

Many obstacles have been experienced in the development work and the technology has not yet resulted in full-scale implementation. It should be realised that this technology has been investigated and developed since the beginning of the 1970s without any final break-through.

Environmental implications: By increasing the dryness of the paper sheet from 50 to 51 %, there will be about 35 kg less water/t of paper to evaporate. Thus, the impulse drying technology has the potential of reducing the amount of water to evaporate by 175-350 kg/t of paper. This would simply save the amount of steam consumption by 175-350 kg/t or about 0.44 - 0.9 GJ/t of paper (assuming 2.5 MJ/kg steam), corresponding to about 10-25 % of present steam consumption in papermaking.
However, when calculating the energy saving, the energy needed for the impulse drying itself has be taken into account. While for impulse drying high temperatures are needed, steam cannot be utilised. On the other hand, paper mills normally have excess amount of steam available which is also a less expensive energy. Thus, the need for high value energy, like electricity decreases the possible benefits for environment and the potential for profitability.

Economical considerations: No data available

Literatur:
[Talja, 1998], [SEPA Report 4712-4, 1997]

6.5.3 Condebelt process

Description: The Condebelt® drying process is a new way to dry paper and board. Initially, the process was simply intended to improve drying of paper and board and it was only later that the big increases in strength properties became evident. In the Condebelt® drying process the paper web coming from the press section is dried between two steel belts instead of traditional steam cylinders, as is shown in Figure 6.26.

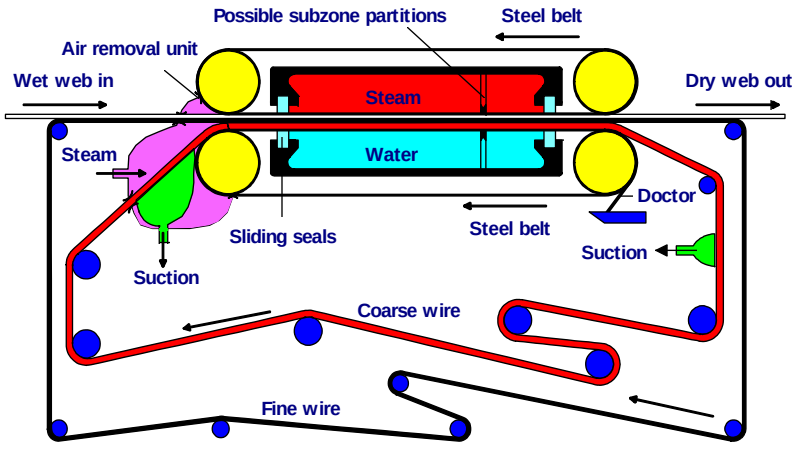


Figure 6.26: Schematic of the Condebelt® drying process (high Z-pressure type)

The web travels between a steam-heated upper, and a water-cooled lower steel belt. The hot upper belt evaporates the moisture in the web and which again will condense on the cooled

lower belt. Water is carried away by the steel belt and coarse wire. The fine wire between the web and the coarse wire reduces wire marking on the backside. The web surface against the hot belt becomes very smooth. The high pressure and high temperature within the web result in a softening of the hemicellulose and lignin in the fibre material which "welds" the fibres together. This results in higher strength and better protection against adverse moisture effects. Thus, surface sizing could often be dispensed with, although normally they would be used.

Condebelt® drying improves significantly strength (20-60%), surface smoothness, dimensional stability and resistance against humidity. In Condebelt® drying, with recycled fibres it is possible to achieve the same strength values as with virgin fibres in conventional drying.

Status of development: At the moment (1999) there are two Condebelt® drying processes in commercial operation. The first one has been running since May 1996 at Stora Enso´s Pankakowski mill, Finland, producing core board, linerboard and special boards. The second one started-up in January 1999 at Dong Il Paper Mfg. Co.Ltd.´s Ansan mill in South Korea producing linerboard and fluting.

Bearing in mind that there are two commercial units in full-scale operation, Condebelt® can also be considered as available technique that has reached commercial stage and not anymore as "emerging technique". However, the major driving force to invest in Condebelt® drying is not protection of the environment, but greatly improved product properties.

Environmental implications: The use of this new drying technology does not result in significant direct energy savings. However, the strength improvements give the potential for savings through reduced basic weight. That means, more square meters from the same amount of fibres can be manufactured without loosing product quality. Furthermore, because of the improved paper sheet properties with Condebelt drying, it seems to be possible to use lower grade fibre material or high yield pulp (e.g. 10% less wood per tonne of liner). Higher strength and better protection against adverse moisture effects can have the effect that surface sizing could often be dispensed with, although normally they would be used.
Although the specific consumption of electric energy and primary steam roughly equals that of traditional drying there are greater opportunities to save heat energy. This is because almost all of the evaporated water and its latent heat can be recovered from the cooling water at a fairly high temperature (normally about 80°C). This energy can be used in other parts of the process also using heat pumping.
To summarise: The environmental benefits are potential savings of raw material (fibres, sizing agents) and a somewhat higher potential for energy recovery.

Economical considerations: No data available

Literatur/Quellenangaben
[Retulainen, 1998], [Ojala, 1999]

6.5.4 Internal Heat Pumps

Description: Heat pumps are used for pumping heat from one medium (e.g. air) to another (e.g. water) Figure 6.27 shows an example of application for a paper machine.

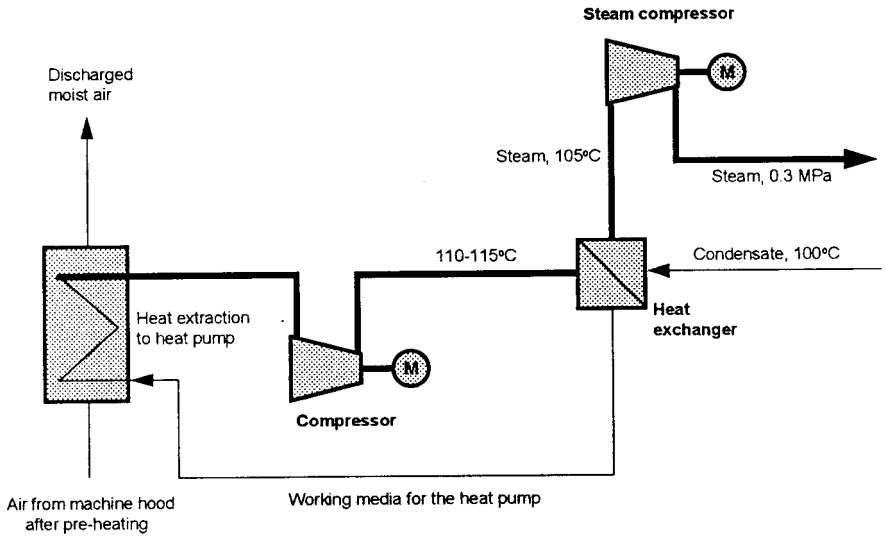


Figure 6.27: System with heat pump for generating process steam
The heat source consists of moist air from a paper machine

Status of development: There are many applications in the pulp and paper industry for heat pumps, but the investment costs are quite high which has hampered the use of this kind of equipment. Furthermore, the environmental problems that are associated with the conventional working media have made the use of heat pumps even more difficult even if the thermodynamics of the heat pump is very advantageous.

Environmental implications: As an example the discharged moist air may hold a temperature of 105°C with a dew point of 61°C. In such a case a heat pump may produce heat corresponding to 750 kWh/t or 2.7 GJ/t by means of only 1/3 or 250 kWh/t of power to the compressor motors. This is based on a coefficient of performance of 3, which is quite normal.

Economical considerations: The potential of this technology is large but the number of actual installations in the pulp and paper industry is small due to the investment cost as well as the mentioned difficulties with suitable working media. Since this is conventional technology, a breakthrough requires the discovery or development of a new suitable media, and also more cost-effective equipment, especially on the compressor side.

Literatur: [SEPA-Report 4713-2,1997]

6.5.5 Total site integration tools

Description: Because of the complexity of the papermaking process technological development in the sector has been realised through step by step actions. The complexity of the process can be illustrated by an example on the use of water. Increased recycling of water will lead to a different process chemistry, lower utilisation of secondary heat, different water management practises, new reject streams, changes in the operation of effluent treatment, increased consumption of electricity and reduced consumption of heat. On the other hand, energy consumption is affected also by the production speed of the machine and by unit operation development of the paper machine. The technological choices will have effects on the energy balance of mill site. It can be concluded that intelligent process solution in the future will try to combine the whole energy - water - fibre - chemicals - system to create a good integration of the mill.

Status of development: Several computer-based tools capable to analyse the complex system including cross media effects described below (item 1 to 9) are under development and first analytical studies have been made with integrated paper mills.
However, it has to be pointed out that total site integration tools do not fully eliminate the need for pilot plant studies.

Environmental implications: The key issue is how to come up with process and mill concepts capable to lower emissions to air and water and at the same time to reduce the formation of solid waste and energy. The requirements for the new process are better paper quality and runnability, and better process management. This calls for more knowledge on the behaviour of the processes. Also the changes to the process caused by adoption of new techniques have to be identified so that compatible process technology can be developed.

Consequently, it is clear that new optimisation tools can support the development of future papermaking processes. Some computer-based tools contain the following items or functions:

1. Information on contaminant concentrations in the different parts of the process
2. Behaviour models for the contaminants
3. Process parameters for separation and treatment methods
4. Methods to optimise water treatment concepts with respect to contaminant concentrations and behaviour
5. Identification of heat sinks and sources
6. Methods to optimise the use of heat through careful process integration
7. Information on the emissions from the new mill concept to air and recipient and formation of solid wastes
8. Detailed process design based on the choices made
9. Methods to analyse and to develop the operational runnability of the process

Economical considerations: No data available. The total site integration tool software is not a big investment. But skilled people are needed that have to spend many man-hours to adapt the software to the given characteristic of a mill.

Literature
[Edelmann, 1999]

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Das vorliegende Kapitel zu Schlussfolgerungen und Empfehlungen beinhaltet den zeitlichen Ablauf der Arbeiten, die Informationsquellen sowie die Verfügbarkeit und Qualität dieser Informationen, allgemeine Bemerkungen zu den besten verfügbaren Techniken, den Grad des Konsenses unter den Sachverständigen der technischen Arbeitsgruppe (TWG) sowie Empfehlungen für künftige Arbeiten.

Zeitlicher Ablauf der Arbeiten

Die Erarbeitung des BVT-Referenzdokumentes nahm fast drei Jahre in Anspruch, wobei folgende Hauptschritte durchgeführt wurden:

- Durchführung der ersten zweitägigen Sitzung der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) vom 5. bis 6. Mai 1997.
- Übermittlung des ersten Entwurfs der Einleitung des Dokuments an die Sachverständigen der Technischen Arbeitsgruppe im November 1997. Dieser Entwurf enthielt einige allgemeine Informationen zur Branche, Erläuterungen zu einigen angewandten Techniken, sowie Verbrauchs- und Emissionswerte bestehender Anlagen in einigen Bereichen der Branche. Dabei wurden seitens der Mitglieder der Technischen Arbeitsgruppe Stellungnahmen abgegeben.
- Ablösung des Sachverständigen des Büros für die Zellstoff- und Papierindustrie im Januar 1998.
- Erarbeitung eines zweiten Dokumententwurfs im August 1998 (chemischer Aufschluss, mechanischer Aufschluss, Verarbeitung von Recyclingpapier) und im September 1998 (Papierproduktion und verwandte Verfahren). Aus den Stellungnahmen dieser Konsultationsrunde wurden zusätzliche Daten und Berichte erarbeitet.
- Die zweite Sitzung der Technischen Arbeitsgruppe fand vom 25. bis 27. November 1998 statt. Dabei wurden sehr gegensätzliche Meinungen vorgebracht und Festlegungen der Technischen Arbeitsgruppe zur Methodik und Präsentation der Schlussfolgerungen zu den BVT getroffen. Einige Fragen, wie z.B. die BVT-Emissionswerte für Sulfatzellstofffabriken, waren Gegenstand lebhafter Diskussionen. Dabei wurde offensichtlich, dass zusätzliche Daten aus bestehenden Anlagen benötigt werden, um die vorgeschlagenen BVT-Emissionswerte zu belegen. In diesem Zusammenhang wurden neue Daten bereitgestellt.
- Ein Teil des Entwurfs des BVT-Referenzdokumentes zur Zellstoff- und Papierindustrie, der in weiten Teilen nach der Diskussion der zweiten TWG-Tagung und entsprechend den danach eingegangenen Stellungnahmen neu gefasst wurde, gelangte im Januar 1999 in Umlauf. Dieses Dokument zeigte am Beispiel der Verarbeitung von Sulfatzellstoff, dass die Schlussfolgerungen zu den BVT auf aussagefähigen Informationen beruhen. Von Mitgliedern der Technischen Arbeitsgruppe wurden dazu Stellungnahmen abgegeben.
- Die BVT-Schlussfolgerungen und IVU-Grundsätze wurden am 18. und 19. Februar 1999 auf dem fünften Treffen des IVU-BVT-Informationsaustauschforums vorgelegt und erörtert. Das Informationsaustauschforum (IEF) billigte das Vorgehen und stimmte der Auffassung zu, dass die Schlussfolgerungen auf einer aussagekräftigen Grundlage beruhen.
- Im August 1999 wurde ein dritter Entwurf des vollständigen Dokuments erstellt. Wiederum wurden aus den Stellungnahmen dieser Konsultationsrunde wertvolle Informationen gewonnen. Die während der Konsultationsgespräche vorgebrachten Informationen wurden in den Abschlussbericht aufgenommen.
- Der endgültige Entwurf des BVT-Referenzdokumentes wurde im Februar 2000 erstellt.
- Das Abschlussdokument und die verbleibenden strittigen Punkte zwischen den Sachverständigen der Technischen Arbeitsgruppe wurden auf dem siebenten Treffen des IVU-BVT-Informationsaustauschforums vom 28. bis 29. Februar 2000 vorgelegt und besprochen.

Informationsquellen

Zahlreiche Informationen und Untersuchungen zu einzelnen Umweltaspekten der Zellstoff- und Papierindustrie liegen bereits vor. So wurde von einzelnen Ländern und internationalen Organisationen bereits eine Reihe von BVT-Dokumenten, Leitfäden und Dokumenten zu technischen Entwicklungen im Hinblick auf verschiedene Umweltfragen vorgelegt. In einigen europäischen Ländern werden bereits spezielle Bestimmungen für Zellstoff- und Papierfabriken angewendet, während andere Länder die Leitfäden fallweise bei der Erteilung von Genehmigungen zu Rate ziehen (wobei es einige wenige Länder gibt, die weder über spezielle Bestimmungen für die Zellstoff- und Papierindustrie noch über Leitfäden verfügen). Im Rahmen verschiedener Abkommen zum Schutz der Meeresumwelt werden sowohl Empfehlungen als auch Beschlüsse verabschiedet. Bei diesen

Empfehlungen geht es um BVT bei der Verminderung der Emissionen aus Zellstoff- und Papierfabriken in Gewässer und in die Atmosphäre. Auch im Auftrag der Europäischen Kommission wurden im letzten Jahrzehnt verschiedene BVT-Untersuchungen zur Zellstoff- und Papierindustrie durchgeführt. All diese Informationen wurden bei der Beschreibung einzelner Aspekte der besten verfügbaren Techniken im BVT-Referenzdokument nutzbringend eingesetzt. Jedoch stellte sich heraus, dass bestimmte Maßnahmen zur Emissionsverminderung, die oft unabhängig voneinander beschrieben werden, einer Aktualisierung bedürfen und zu ergänzen bzw. nach einem integrierten Konzept zusammenzuführen sind, um alle bei der Festlegung der BVT gemäß Anhang IV der Richtlinie zu berücksichtigenden Aspekte zu erfassen.

Zur Unterstützung der Arbeiten des Europäischen IPPC-Büros haben einige Mitgliedstaaten sowie die Wirtschaft Untersuchungen durchgeführt bzw. in Auftrag gegeben, die eine integrierte Beschreibung der BVT in der Zellstoff- und Papierbranche zum Ziel haben. Vom Verband der Europäischen Papierindustrie (CEPI) wurden zur Unterstützung der Arbeiten drei BVT-Untersuchungen durchgeführt, während Groupement Ondulé (Europäischer Verband der Hersteller von Wellrohpapier) eine BVT-Studie zur Produktion von Verpackungsausgangsmaterial aus Recyclingfasern in Auftrag gegeben hat. Von Finnland wurden zwei BVT-Studien mit BVT-Emissionswerten vorgelegt, Schweden führte zwei Untersuchungen zu Möglichkeiten der Senkung des Energieverbrauchs und zu den entsprechenden Auswirkungen auf die Kosten durch, und die Niederlande legten einen BVT-Bericht zur Produktion von Zellstoff und Papier aus Recyclingfaserstoff vor. Die Stellungnahmen und Beiträge der Mitglieder der Technischen Arbeitsgruppe trugen in hohem Maße zu den Ergebnissen des Informationsaustauschs zu BVT bei.

Aussagekräftige Informationen stehen auch im Hinblick auf Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen in Gewässer und in die Atmosphäre zur Verfügung. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich die in Zellstoff- und Papierfabriken durchgeführten Umweltschutzmaßnahmen weltweit auf die Senkung der Luft- und Wasseremissionen konzentriert haben. Im Gegensatz dazu sind zur Beurteilung energieeffizienter Technologien und unterschiedlicher Varianten zur Minimierung fester Abfälle in der Zellstoff- und Papierindustrie weniger Informationen verfügbar.

Im Laufe der Arbeiten wurde deutlich, dass nicht genügend Informationen zu ausreichend fundierten anlagenspezifischen Emissionswerten zur Verfügung stehen. Oft wird die Umweltleistung interner und externer Maßnahmen im technischen Hintergrundmaterial nur relativ unklar beschrieben. Es ist schwierig und in einigen Fällen sogar unmöglich, anlagenspezifische Informationen und fundierte Zahlenangaben zu optimalen Umweltleistungen einzuholen. In zahlreichen Fällen war es erforderlich, Daten zur Umweltverträglichkeit zu ergänzen sowie Angaben zu medienübergreifenden Aspekten und zu den Kosten hinzuzufügen. Trotzdem steht fest, dass von den Mitgliedern der Technischen Arbeitsgruppe zahlreiche wertvolle Informationen gesammelt und dem Europäischen IPPC-Büro zur Verfügung gestellt wurden. Damit war es möglich, die Mehrzahl der Informationslücken zu schließen.

Transparente Angaben zur Umweltleistung der europäischen Papierindustrie sind bis zum heutigen Tag auf einige wenige Länder beschränkt. So veröffentlichen z.B. Schweden und Finnland regelmäßig Umweltstatistiken, die der Öffentlichkeit zugänglich sind und aus denen die Umweltverträglichkeit einzelner Anlagen hervorgeht. Ab dem Jahr 2000 müssen Papierfabriken in den Niederlanden mittels eines Jahresumweltberichtes der Öffentlichkeit Auskunft über ihr Umweltverhalten geben. Auch in Irland werden sämtliche Überwachungsdaten und –berichte der Unternehmen sowie die Überwachungsdaten der Umweltschutzbehörde "Environmental Protection Agency" der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Ziel der Wirtschaft und der gesellschaftlichen Kräfte ist es, die Ergebnisse der Papierindustrie bei der Senkung der Umweltbelastungen objektiv und transparent darzustellen. Die Verfolgung einer Strategie größerer Offenheit und umfangreicherer Information der Öffentlichkeit wäre ein Beitrag zur Erreichung dieses Ziels (und würde die Unterstützung der Bevölkerung für derartige Maßnahmen erhöhen).

In diesem Zusammenhang ist festzustellen, dass mehrfach unzureichende Informationen zu den vorgelegten Angaben über Probenahme- und Analyseverfahren bereitgestellt wurden. In zahlreichen Fällen wurden Angaben zu Referenzzeitintervallen (d.h. Tages- bzw. Jahresmittelwerte), Berechnungsverfahren und Referenzbedingungen überhaupt nicht oder nur unvollständig vorgelegt. Aus diesem Grund schwankt die Vergleichbarkeit der Umweltleistungsdaten von Fall zu Fall und muss in Zukunft unbedingt verbessert werden. Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit der Daten wird empfohlen, auf europäischer Ebene eine Erhebung durchzuführen, aus der

hervorgeht, wie die Daten zur Umweltverträglichkeit von Zellstoff- und Papierfabriken erfasst werden, ob die verschiedenen eingesetzten Methoden zweckmäßig sind, und wenn ja, in welchem Maße und in welcher Hinsicht. So scheinen z.B. bei der Bestimmung von diffusen Emissionen in die Atmosphäre (Emissionen des gesamten reduzierten Schwefels aus zahlreichen kleinen Entstehungsquellen in niedrigen Konzentrationen und hohen Volumina) in europäischen Sulfatzellstofffabriken verschiedene Erfassungs- und Messsysteme zum Einsatz zu kommen. Eine derartige Erhebung wäre auch für Berechnungen und die Berichterstattung zu Fragen des Energieverbrauchs sinnvoll. In europäischen Zellstoff- und Papierfabriken werden dazu unterschiedliche technische Begriffe und Bezeichnungen für Abfallfraktionen benutzt und Abfallfraktionen nach verschiedenen Gesichtspunkten unterschieden. Daher ist es bei vorgelegten Zahlen zum Aufkommen von festen Abfällen oft nicht klar, welche Abfallfraktionen berücksichtigt wurden und welche keine Berücksichtigung fanden. Bei anderen Parametern einschließlich CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, SO_2 and NO_x scheint es weniger Unterschiede zu geben, da hier internationale Normen zu deren Bestimmung existieren.

Auch fehlen noch immer ausreichend fundierte Angaben zu den Kosten, die als zuverlässige und transparente Arbeitsgrundlage genutzt werden können und einen Vergleich zwischen den eingesetzten Techniken, den Kosten und möglichen Einsparungen zulassen. Es ist daher schwierig, die Kosten für die einzelnen Techniken zu vergleichen. Es stehen wohl einige Kostendaten zur Verfügung, aber im Allgemeinen ist nicht bekannt, was sich hinter diesen Zahlen verbirgt und wie sie errechnet wurden. Dazu kommt, dass die Kosten für dieselben Maßnahmen in unterschiedlichen Anlagen beträchtlich schwanken, was u.a. auf verschiedene technische Ansätze und Investitionsabläufe zurückzuführen ist. Daher sind die in vorliegendem Dokument angeführten Kosten nur als Größenordnungen und nicht als exakte Zahlenangaben zu betrachten. Kosten für eine bestimmte Anlage können nur unter den konkreten Voraussetzungen berechnet werden.

Beste verfügbare Techniken

Konzepte, die den BVT in der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung mehr oder weniger nahe kommen, wurden bereits vor einiger Zeit in der Zellstoff- und Papierindustrie eingeführt. So wurden bereits Technologien und Strategien zur weitestgehenden Reduzierung des Einsatzes von Rohstoffen, Chemikalien, Energie und Frischwasser und zur Verminderung der Emissionen in die Gewässer, in die Atmosphäre und in den Boden entwickelt. Speziell in den beiden letzten Jahrzehnten wurden umfangreiche Investitionen und Modernisierungen an den Produktionsanlagen zahlreicher europäischer Zellstoff- und Papierfabriken durchgeführt. Dadurch konnte die Umweltbelastung durch Zellstoff- und Papierfabriken insgesamt mit Hilfe von internen und externen Maßnahmen spürbar gesenkt werden. Trotzdem sind weitere Verbesserungen und Anstrengungen vonnöten, um dem Ziel einer langfristig nachhaltigen Entwicklung näher zu kommen.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt konzentrierte sich sowohl der Gesetzgeber als auch die Kontrolle durch Umweltbehörden in der Hauptsache auf Emissionen in die Atmosphäre und in die Gewässer. Bei den bis heute erzielten weitreichenden Verbesserungen spielten Rechtsvorschriften und ihre Durchsetzung als treibende Kräfte eine wesentliche Rolle. Jedoch sind es nicht nur die Behörden sondern auch Investoren, Auftraggeber, die Öffentlichkeit einschließlich politischer Gruppierungen, Umweltinitiativen und die Medien, die als Interessengruppen mitwirken und von den Anlagenbetreibern die Verminderung der Umweltbelastung fordern. Es konnte festgestellt werden, dass im Laufe der Entwicklung jeweils andere spezifische Themen in den Blickpunkt des Interesses gelangt sind. So standen in den letzten Jahren Fragen des effizienten Einsatzes von Rohstoffen und Energie, der Minimierung fester Abfälle, der Nutzung umweltfreundlicherer Chemikalien sowie der Anlieferung und des Abtransportes in den Anlagen selbst im Vordergrund, während Aspekte einer nachhaltigen Forstwirtschaft bzw. des Transports bei der Erteilung von Genehmigungen normalerweise keine Rolle spielen und im vorliegenden Dokument auch nicht untersucht werden.

In zahlreichen Unternehmen hat sich eine mehr ganzheitlich orientierte Betrachtungsweise der Umweltproblematik durchgesetzt. Dabei wurden neue Verfahren zur Analyse der Wechselwirkungen zwischen Produkten, Produktionsprozessen und der Umwelt aus der Sicht des Produktkreislaufs ("Papierkette") entwickelt und umgesetzt.

Durch den Informationsaustausch ist es möglich geworden, auf Branchenebene Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken zu ziehen. Bestimmte Emissions- und Verbrauchswerte werden im Zusammenhang mit

der Anwendung einer BVT-Kombination angegeben. Im BVT-Referenzdokument werden sowohl die einsetzbaren Techniken als auch die entsprechenden Emissions- und Verbrauchswerte aufgeführt. Die Zusammenfassung gibt die wichtigsten Erkenntnisse im Hinblick auf die Schlussfolgerungen zu den BVT wieder. Die verschiedenen Merkmale der besten verfügbaren Techniken werden in den Kapiteln zu den BVT näher beschrieben, wo auch zusätzliche Erläuterungen dazu gegeben werden.

Grad des Konsenses

Das vorliegende BVT-Referenzdokument wurde von der Mehrheit der Mitglieder der Technischen Arbeitsgruppe und der Teilnehmer am 7. Treffen des Informationsaustauschforums gebilligt. Jedoch haben CEPI als Vertreterin der Zellstoff- und Papierindustrie und einige wenige Mitgliedstaaten zum Ausdruck gebracht, dass sie den endgültigen Entwurf nicht vorbehaltlos unterstützen und einige der im Dokument enthaltenen Schlussfolgerungen anfechten. Die Gründe dafür werden im Folgenden aufgeführt.

Einige Mitgliedstaaten und die CEPI meinen, dass die BVT-Emissionswerte getrennt nach neuen und bestehenden Anlagen aufgeführt werden sollten. Was hierbei auf den ersten Blick logisch erscheint ist jedoch aus praktischer Sicht problematisch. Schwierigkeiten entstehen dadurch, dass die Anwendbarkeit einer Technik in einer Zellstoff- und Papierfabrik nicht nur davon bestimmt wird, ob es sich dabei um eine neue oder bestehende Anlage handelt. Auch Zellstoff- und Papierfabriken sind dadurch gekennzeichnet, dass der vorhandene Maschinenpark über einen Zeitraum von mehreren Jahren und nicht zu einem bestimmten Zeitpunkt vollständig ersetzt wird (modulare Anlagenerneuerung bzw. -weiterentwicklung). Auf Grund ständiger Maßnahmen in den Bereichen Umbau, Modernisierung, Prozesskontrolle und Umweltmanagement gibt es zahlreiche bestehende Anlagen, die eine vergleichbare bzw. höhere Umweltverträglichkeit aufweisen als Anlagen, die in jüngerer Zeit errichtet wurden (zumindest bei einigen Parametern). Hinzu kommt, dass BVT-Berichte über Neuanlagen in gewisser Weise auf Spekulationen beruhen. Daher beziehen sich sämtliche Beschreibungen und Angaben des vorliegenden Dokuments auf bestehende Anlagen.

Außerdem plädierten einige Mitgliedstaaten und CEPI für verschiedene BVT und BVT-Emissionswerte bei größeren und kleineren Anlagen. Hierbei besteht die Schwierigkeit darin, dass von den Sachverständigen der Technischen Arbeitsgruppe keine Informationen dahingehend bereitgestellt wurden, welche Techniken aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht in kleineren Anlagen eingesetzt werden können. Auch wurden keine fundierten Informationen zu geeigneten BVT-Werten für kleinere Anlagen vorgelegt, so dass unklar ist, welche Maßstäbe hierzu anzulegen sind. Andererseits gibt es auch einige kleinere Anlagen, die hohe Umweltleistungen erzielen. Wenn die Anlagengröße tatsächlich einen Einfluss ausübt, dann wird dies von der Genehmigungsbehörde im betroffenen Mitgliedstaat berücksichtigt, Aus diesem Grund sollte im BVT-Referenzdokument kein Unterschied bei den BVT-Werten für kleinere und größere Anlagen gemacht werden und wurde auch nicht gemacht. Die Anlagengröße kann jedoch berücksichtigt werden, wenn es darum geht, die BVT-Werte für einen spezifischen Fall festzulegen. Generell kann festgestellt werden, dass die spezifischen Kosten für kleinere Anlagen relativ höher liegen (Größenvorteile), dass kleinere Werke möglicherweise über weniger finanzielle Mittel für technische Veränderungen verfügen oder dass das Material bzw. die Gestaltung älterer Anlagen für einen stärker geschlossenen Wasserkreislauf ungeeignet ist. In bestimmten Fällen verfügen kleinere Anlagen auch nicht über das Know-how zur optimalen Steuerung und Kontrolle komplexerer Prozesslösungen.

Ungeachtet der obigen Argumente waren CEPI und ein Mitgliedstaat der Auffassung, dass der wirtschaftliche Unterschied zwischen neuen und bestehenden bzw. großen und kleinen Anlagen nicht genügend herausgearbeitet worden war und dass es erforderlich gewesen wäre, diese Unterschiede im BVT-Referenzdokument eindeutig darzustellen. Darüber hinaus war der betreffende Mitgliedstaat der Meinung, dass Anlagen zur Produktion von verschiedenen Papiersorten mit denselben Ausrüstungen nicht ausreichend berücksichtigt worden waren.

Zusätzlich dazu wurde diskutiert, ob es in einer typischen Anlage möglich ist, gleichzeitig sämtliche dargestellten Emissions- und Verbrauchswerte für eine geeignete Kombination verschiedener BVT-Techniken zu erreichen oder nicht. CEPI und drei Mitgliedstaaten vertraten die Meinung, dass eine typische Anlage dieses Ziel nicht erreichen kann. Ihrer Ansicht nach wurden die Parameter keiner ausreichenden Gesamtbeurteilung unterzogen. Als ein Grund wurde das Fehlen von Referenzdaten aus ganzheitlichen Beurteilungen angegeben.

Diese Meinung wurde von der Mehrheit der Mitglieder der technischen Arbeitsgruppe jedoch nicht geteilt, und es wurden Anlagen nachgewiesen, die gleichzeitig sämtliche mit den BVT verbundenen Werte erreichten. Diese Diskussion verdeutlicht die unterschiedlichen Positionen im Hinblick auf das Verständnis für die in der Richtlinie angeführten BVT und unterstreicht die Notwendigkeit, das BVT-Referenzdokument im Zusammenhang mit dem Vorwort dieses Dokuments zu betrachten.

Außer diesen Fragen allgemeiner Art gab es auch einige wenige spezifische Fragen, zu deren abschließenden Schlussfolgerungen keine Einstimmigkeit erzielt werden konnte. So waren CEPI und zwei Mitgliedstaaten der Auffassung, dass der obere BVT-Wertebereich für TSS bei der Herstellung von gebleichtem Sulfatzellstoff bei 2,0 kg/t Zellstoff und nicht bei 1,5 kg/t Zellstoff liegen sollte. Des Weiteren vertreten CEPI und ein Mitgliedstaat auch die Meinung, dass einige BVT-Wertebereiche für nicht gestrichenes Feinpapier, gestrichenes Feinpapier und Seidenpapier zu streng gefasst sind. Ein weiterer Mitgliedstaat brachte zum Ausdruck, dass die verfügbaren Messdaten für Hilfskessel nicht vergleichbar seien, wodurch die Gültigkeit der Schlussfolgerungen zu den BVT-Emissionswerten von Kesseln in Frage gestellt wird. Andererseits vertreten einige Mitglieder der Technischen Arbeitsgruppe die Position, dass bestimmte BVT-Werte aus den Schlussfolgerungen äußerst großzügig festgelegt worden sind (z.B. im Hinblick auf die CSB-Werte bei Sulfatzellstofffabriken).

Vom Europäischen Umweltbüro als Vertreter von Umweltorganisationen wurden weitere abweichende Ansichten vorgebracht, so u.a. die Meinung, dass chlorfreies Bleichen in Sulfatzellstofffabriken nicht die BVT-Kriterien im Hinblick auf das Vorsorge- und Vermeidungsprinzip erfüllt und dass die dritte Reinigungsstufe bei Abwasser generell die Behandlung mit Ozon, Peroxid bzw. UV-Strahlung mit anschließender Biofiltration beinhalten sollte.

Empfehlungen für die zukünftige Arbeit

Im Abschnitt "In der Entwicklung befindliche Verfahren" eines jeden Kapitels werden Beispiele für zukunftsträchtige Verfahren in unterschiedlichen Entwicklungsstadien angeführt. Einige dieser neuen Technologien wurden in jüngster Zeit im Industriezweig eingeführt. Dies betrifft z.B. neue Eindampfungsverfahren, Membranverfahren, die Ozonisierung, den Einsatz anlageninterner Wasseraufbereitungssysteme, Projekte zur Einführung geschlossener Wasserkreisläufe und neue Möglichkeiten der Abfallbehandlung. In diesem Bereich werden in naher Zukunft eine ganze Reihe großtechnischer Anlagen in Betrieb gehen. Es wird erwartet, dass in wenigen Jahren Ergebnisse aus Langzeitversuchen in verschiedenen Anlagen zur Verfügung stehen werden. Diese Erfahrungen könnten bei einer Überarbeitung des BVT-Referenzdokuments in dieses aufgenommen werden, wobei auch andere in der Entwicklung befindliche Verfahren in das Dokument Eingang finden können.

Geschlossene Wasserkreisläufe mit integrierter biologischer Prozesswasserbehandlung sind in einigen wenigen großtechnischen Anlagen zur Herstellung von Papiersorten ohne Druckfarbenentfernung in Europa bereits Realität. In der Technischen Arbeitsgruppe wurde darüber diskutiert, ob diese Kombination bereits generell als BVT eingestuft werden sollte. Im Hinblick auf die Branchenebene nahmen die Sachverständigen davon noch Abstand, da immer noch eine Reihe von technischen Problemen einer Lösung harrt. Was jedoch "braune Papiersorten" angeht, so kann man abwasserfreie Anlagen bereits als realistisches Ziel ansehen. In wenigen Jahren ist damit zu rechnen, dass neue Erfahrungen aus bestehenden Anlagen zur Verfügung stehen, nämlich dann, wenn Unternehmen, die in diese Techniken investieren, über ihre Betriebserfahrungen berichten können. Sicherlich werden es diese Erfahrungen wert sein, bei der nächsten Überarbeitung des BVT-Referenzdokuments aufgenommen zu werden.

Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind aus dem Informationsaustausch in der Technischen Arbeitsgruppe nur begrenzte bzw. ungenügend fundierte Informationen zu Kosten bzw. Einsparungen mit BVT hervorgegangen. Daher wird empfohlen, bei einem künftigen Informationsaustausch präzisere und konkretere Informationen zu erfassen. Dabei sollte es sich auch um Informationen über spezifische Kosten und Einsparungen handeln, wie z.B. den Amortisierungszeitraum für bestimmte Maßnahmen und die Stückkosten (z.B. bezogen auf eine Tonne hergestelltes Erzeugnis, eine Tonne Schadstoffreduzierung bzw. einen Kubikmeter behandeltes Wasser).

Die allgemeine Verminderung fester Abfälle sowie die Reduzierung der zur Deponierung vorgesehenen Abfallfraktionen sind umfassende Fragen, die einer Lösung bedürfen. Erreicht werden kann dies durch die

Anwendung einer Reihe von unterschiedlichen umweltverträglichen Techniken, von denen einige im BVT-Referenzdokument beschrieben werden. Jedoch ist festzustellen, dass sich die besten verfügbaren Techniken zur Abfallaufbereitung, zum Recycling und zur Wiederverwendung in Europa von Land zu Land unterscheiden und dass noch weitere Informationen über die optimale Abfallbewirtschaftung und die bevorzugten Aufarbeitungsmöglichkeiten in den einzelnen Mitgliedstaaten vonnöten sind. Die Überprüfung des BVT-Referenzdokuments könnte Gelegenheit bieten, denkbare Varianten, deren Vor- und Nachteile sowie die erzielten Ergebnisse näher zu untersuchen. Danach könnte sich die Möglichkeit bieten, BVT-Wertebereiche für gegenwärtig noch zur Deponierung vorgesehene feste Abfälle vorzuschlagen.

Über die Beurteilung energiesparender Technologien und über praktische Erfahrungen mit den Ergebnissen in der Zellstoff- und Papierindustrie liegen nur wenige Angaben vor. In den Fällen, in denen Energiedaten und -bilanzen vorgelegt werden, sind die Ansätze und Grundlagen der Erstellung qualitativ oft unzureichend. Daher sind vor der nächsten Überprüfung weitere Arbeiten zu diesem wichtigen Thema sowie zur Ermittlung produktionsspezifischer Energieverbrauchszahlen erforderlich.

Auch zu lokalen Fragen, wie z.B. Lärm, Erschütterungen und Geruchsbelästigung und die entsprechenden Maßnahmen zu ihrer weitestgehenden Reduzierung, wurden nur spärliche Informationen übermittelt. Dasselbe gilt für eine potentielle Bodenkontamination (umweltgerechte Stilllegung von Anlagen, Vermeidung des Freisetzens von Gefahrstoffen während der Lagerung, dem Transport und der Verwendung) sowie für gesundheitliche und sicherheitsrelevante Aspekte. Wenn dazu Information zur Verfügung stehen, sollten sie bei der Überprüfung des BVT-Referenzdokuments in dieses eingearbeitet werden.

Anscheinend werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt, um flüchtige Emissionen in die Atmosphäre, die in Sulfatzellstofffabriken an verschiedenen kleinen Emissionsquellen entweichen (und als gesamter reduzierter Schwefel gemessen werden), zu erfassen, zu prüfen, zu messen und zu berechnen. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um zu untersuchen, ob diese unterschiedlichen Praktiken zu relevanten Unterschieden führen oder nicht.

Innerhalb der Technischen Arbeitsgruppe gab es lebhafte Diskussionen zur allgemeinen Vergleichbarkeit von Daten in Europa, insbesondere bei der Messung der gesamten suspendierten Feststoffe (abfiltrierbare Stoffe) im Wasser und bei der Bestimmung der Staubemissionen in die Atmosphäre. In Anhang III werden weitere Einzelheiten aufgeführt, wobei jedoch nicht die Auffassung unterstützt wird, dass Zahlenangaben zu den gesamten suspendierten Stoffen nicht vergleichbar wären. Abgesehen von diesen Beispielen wird davon ausgegangen, dass die Vergleichbarkeit von Daten kein so großes Problem darstellt, wie es von einigen Beteiligten oft gezeichnet wird, da für verschiedene Parameter bereits europäische Normen existieren. Dennoch ist die Harmonisierung künftiger Daten mittels europäischer Standardverfahren und durch eine Untersuchung der tatsächlichen Unterschiede und der Einflussfaktoren bei den vorgelegten Ergebnissen natürlich wünschenswert. Einbezogen werden sollten dabei Strömungsmessungen, Probenahmeverfahren, Vorbehandlungstechniken und die Rückstellung von Proben sowie Unterschiede bei der Berechnung und Darstellung der Umweltleistung (Mittelungszeit, Referenzbedingungen).

Bei der künftigen Darstellung von Emissionsdaten sollten darin die spezifischen Volumina und Konzentrationen (z.B. pro Tonne Produkt) von Gasen und Abwässern enthalten sein, damit das Verständnis für spezifische Emissionen auch bei skeptischen Lesern verbessert wird. Ausreichend fundierte spezifische Emissionsdaten sind die beste Informationsgrundlage für einen Vergleich der Umweltleistung verschiedener Anlagen in Europa.

Die bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigenden Informationen sind bei Sulfitzellstofffabriken generell viel weniger aussagekräftig als bei Sulfatzellstofffabriken. Daher konnten auf der Grundlage der von den Mitgliedern der Technischen Arbeitsgruppe während des Informationsaustausches vorgelegten lückenhaften Informationen zu BVT nur einige wenige Techniken so ausführlich beschrieben werden wie die bei der Sulfatzellstoffherstellung eingesetzten Verfahren. Sollte in den Mitgliedstaaten der Wunsch nach einer gründlicheren Untersuchung der Unterschiede zwischen Sulfat- und Sulfitzellstoffverfahren laut werden, dann müssen zur Überarbeitung dieses Abschnittes zusätzliche Informationen bereitgestellt werden. Bei einer künftigen Überarbeitung des BVT-Referenzdokuments könnten auch die speziellen Bedingungen in kleineren Anlagen und im Bereich der Spezialpapiere näher untersucht werden. Nützlich könnte dabei die Schaffung eines Netzwerks von kleineren

Anlagen zum Zwecke des Informationsaustausches und zur Suche nach besonders geeigneten Lösungen für ihre jeweiligen Bedingungen sein.

Sobald Erfahrungen mit der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung sowie mit der Anwendung des BVT-Referenzdokuments vorliegen, sollte geprüft werden, ob es erforderlich ist, weitere produktspezifische Faktoren detaillierter zu beschreiben. Bei diesen Faktoren könnte es sich u.a. um spezielle Rohstoffe, spezifische Eigenschaften des Endprodukts und damit verbundene Faktoren des Anlagenbetriebs handeln.

Von der Technischen Arbeitsgruppe wird empfohlen, mit der Aktualisierung des vorliegenden BVT-Referenzdokuments ca. 2005 zu beginnen und dabei die oben genannten Punkte und insbesondere die erreichten Entwicklungen bei den Emissionen pro Tonne Erzeugnis zu beurteilen. Vor der Aktualisierung des vorliegenden BVT-Referenzdokuments sollten die Mitgliedstaaten und die Wirtschaft mit größerer Bereitschaft und Transparenz Informationen zu Emissionen und zum Energieverbrauch sowie zu den damit verbundenen Techniken und deren Kosten zur Verfügung stellen. Ein wichtiger Schritt zur Unterstützung dieser Arbeiten wäre die Veröffentlichung von Produktions-, Emissions- und Energieverbrauchsdaten für jede Anlage durch die Mitgliedstaaten und die Industrie. Hilfreich wäre dabei die Durchführung einer Erhebung, um die unterschiedlichen Praktiken bei der Ermittlung der Umweltleistung und der Berichterstattung über die in den Zellstoff- und Papieranlagen Europas erreichten Ergebnisse zu untersuchen.

LITERATUR/QUELLENANGABEN

[ADEME, 1996]
Centre Technique Du Papier, Énergie et Environnement Dans L'Industrie Papetière (in French only), authors: Pichon, M., Muratore, E., Guillet, F., on behalf of ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), 1996, ISBN 2 906579 05 X

[Alfthan, 1996]
C.J. Alfthan, L. Ahlenius, G. Svensson, Closed Loop Bleaching - Mill experiences (in German), Das Papier, 1996, p. V 8 - V 12

[Annergren, 1996]
Annergren, G., Sandström, A bleach plant designed for closure (in German), Das Papier 1996, p. V 12

[Axegård, 1997]
Axegård, P. Carey, J., Folke, J., Gleadow, P. Gullichsen, J., Pryke, D., Reeve, D., Swan, B., Uloth, V., Minimum-Impact Mills: Issues and challenges, Paper presented at 3rd International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9-13 November 1997

[Bentley, 1999]
Bentley, D.J., Mill report: McKinley Paper goes from zero to success in less than four years. Vol. 82 TAPPI Journal No. 1, 1999-03-25

[BMU Austria, 1995]
Bundesministerium für Umwelt (BMU), Sector Waste Management Concept for Paper and Pulp Industry. Prevention-Utilisation-Disposal (in German only), Ministry of Environment, Vienna, Austria, 1995

[BMU Germany, 1993]
Minimum Requirements for the Disposal of Wastewater in Water Courses - §7a, Water Resources Law. Production of Paper and Board. Comments and explenations on appendix 19 B, Published by the Minister for the Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, Federal Gazette, 1993

[Borschke, 1997]
Borschke, D., Gehr, V. Mönnigmann, R., Papermaking in view of an optimized waste and water management (in German only: Papierherstellung aus der Sicht eines optimierten Reststoff- und Wassermanagement), Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 146- 153

[Bowen, 1990]
Overview of Emerging Technologies in Pulping and Bleaching, Bowen, J., Hsu, J.C.L., Tappi Journal, September 1990

[Braeuer, 1998]
Braeuer, R., Puhar, E.M., Mulligan, D.B., A new technology for recovered paper processing. The Continuous Batch Fiber Recovery System (CBFRS) "The Tunnelwasher", PTS-CTP Deinking Symposium, Munich, Germany, 1998

[Braunsperger, 1996]
Braunsperger, F., Oberkofler, J., Moser, T., Slime Control without Chemicals (in German only: Chemiefreie Schleimbekämpfung), Wochenbl.f.Papierfabrikat.124 (1996), No. 5, p. 192-194

[COWIconsult, 1989]
COWIconsult, The Technical and Economic Aspects of Measures to Reduce Water Pollution Caused by the Discharges from the Pulp and Paper Industry, European Commission, 1989

[CEPI, 1997a]
CEPI, CEPI Annual Statistics 1996, 1997

[CEPI, 1997b]
CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1997

[CEPI, 1998a]
CEPI (ed.), BAT for Paper Manufacturing, Report carried out by J. Poeyry Soil and Water Ltd, 1998

[CEPI, 1998b]
CEPI (ed.), BAT in the Manufacturing of Pulp. Complementary Information on BAT Candidates, Report carried out by J. Pöyry Soil and Water Ltd, Helsinki, July 1998

[CEPI, 1998c]
CEPI, Annual Statistics 1997, 1998

[de Beer, 1993]
de Beer, J.; Worrell, E.; Blok, K., Energy Conservation in the Paper and Board Industry in the Long Term, Utrecht University, 1993

[DG XVII, 1992]
Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 1, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[DG XVII, 1992]
Energy Technology in the Paper Industry, Final Report for the Directorate General XVII, Volume 2, Contract No. XV11/4, 1000IE 91-92, Centre Technique du Papier (CTP) and Pira International, 1992

[Diedrich, 1997]
Diedrich, K., Hamm, U., Knelissen, J.H., In-line biological process water treatment in a zero effluent discharge paper mill (in German only), Das Papier 51, No. 6A, p. V153-V159, 1997

[Driessen]
Driessen, W., Habets, L., Paasschens, C., Anaerobic treatment of effluent from recycled paper, p. 81-83

[Dutch Notes on BAT, 1996]
Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General for Public Works and Water Management and RIZA (Institute for Inland Water Management and Wastewater Treatment), Dutch Notes on BAT for Paper and Board from Recycled Fibres, 1996
Contact: W.J.Luttmer, RIZA, P.O. Box 17, 8200 AA Lelystad, The Netherlands

[ECF, 1997]
Elemental Chlorine Free (ECF), Pollution Prevention for Pulp and Paper Industry. Submission to the Joint Standing Committee on Natural Resources, 118th Maine Legislature, April 1997

[Ecocyclic pulp mill, 1999]
KAM program "Ecocyclic pulp mill", July 1, 1996 - December 31, 1999, STFI, Box 5604, S-114 86 Stockholm, Sweden.

[Edelmann, 1997]
Edelmann, K., Kaijaluoto, S. Karlsson, M., Towards effluent free paper mill, Das Papier, 21. Jahrg., No. 6A, 1997, p. V 138- 145

[Edelmann, 1999]
Edelmann, K., Closed water cycles and environmental issues in paper production, International Conference on process integration, 7 - 10 March 1999, Copenhagen

[EN 643, 1994]
EN 643, 1994, List of European standard qualities of waste paper, CEN

[Energy Efficiency Office, 1991]
Energy Efficiency Office, UK, Anaerobic Digestion of Paper Mill Effluent, Energy Efficiency Office, 1991

[Energy Efficiency Office, 1991]
Energy Efficiency Office, UK, Cross Direction (CD) Profile Correction of Moisture and Caliper on a Paper Machine (A demonstration at Tait Paper), Energy Efficiency Office, 1991

[Energy Efficiency Office, 1992]
Energy Efficiency Office, UK, An Improved Infra-Red Camera for Troubleshooting on a Paper Machine, Energy Efficiency Office, 1992

[Energy Efficiency Office, 1992]
Energy Efficiency Office, UK, Hot Stock Dispersion in a Paper Mill Using Wastepaper in its Furnish, Energy Efficiency Office, 1992

[Energy Efficiency Office, 1993]
Energy Efficiency Office, UK, Hot press drying of board grade paper products, Energy Efficiency Office, 1993

[Energy Efficiency Office, 1993]
Energy Efficiency Office, UK, Jet Foil air flotation drying on a paper machine, Energy Efficiency Office, 1993

[Energy Efficiency Office, 1994]
Energy Efficiency Office, UK, Optimisation of a Yankee Drying Cylinder Hood, Energy Efficiency Office, 1994

[Energy Efficiency Office, 1996]
Energy Efficiency Office, UK, Energy savings from a film metering size press, Energy Efficiency Office, 1996

[Energy Efficiency Office, 1997]
Energy Efficiency Office, UK, Multi-Disk refining at a paper mill, Energy Efficiency Office, 1997

[EPA, 1996]
Irish EPA, Integrated Pollution Control Licensing, BATNEEC Guidance Note for Board Manufacture, EPA No. LC 11 (2/96), 1996, ISBN 1 899965 173

[EPA, 1997]
Irish EPA, BATNEEC Guidance Note Pulp and Paper Manufacture (draft), 1997

[EU, 1996]
Auttio, E.; Dietrichs, E.; Führer, K.; Smith, K., Innovation Activities in Pulp, Paper and Paper Production in Europe, European Commission, DG XIII, 1996

[EUCEPA, 1997]
26th EUCEPA Conference together with ZELLCHEMING Annual Meeting and Expo '97. The Sustainable Paper Cycle - A Challenge, Baden-Baden 23-26 June 1997, Conference issue, Das Papier 6 A/1997

[EurEco, 1997]
EurEco, Interdisciplinary Environmental Studies, Review of selected schemes developed for environmental risk assessment of substances hazardous for the aquatic environment, submitted to: RIZA, contract: RI-1908, Luxembourg, 1997

[Evans, 1991]
Evans, T., An overview of the water recovery process at Millar Western' s, CPPA Spring Conference, Whistler, B.C. 1991

[Evans, 1992]
Evans, T., Startup of Millar Western's zero discharge BCTMP mill in Meadow Lake, Tappi Pupling Conference, Boston, MA, Nov. 1992

[Evans, 1993]
Evans, T. Sweet, F.W. Manolescu, D.R., Meadow Lake' s success opens the door for kraft bleach plant closure, Pacific Paper Expo, Vancouver, B.C. Nov. 1993

[Färnstrand, 1997]
Färnstrand, P. - A., Obtaining better quality, efficiency and pollution control with new pulp processes, 5th Global Conference on Paper and the Environment, Gothenburg, Sweden, 10-12 June 1997

[FEI, 1996]
Finnish Environment Institute (ed.), 1996. J. Tana and K.H. Lehtinen, The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations - an overview, The Finnish Environment 17, ISBN 952-11-0028-1, Oy Edita Ab, Helsinki, 1996

[FEFCO, 1997]
FEFCO, European Database for Corrugated Board. Life Cycle Studies, 1997

[FFIF, 1998]
Environmental Report. Statistics for 1997, Finnish Forest Industries Federation, 1998

[Finnish BAT Report, 1997]
The Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry. The Finnsih Environment 96, Ministry of Environment in Finland, Edita Ltd, Helsinki 1997, ISBN 952-11-0123-7

[Fischoeder, 1995]
Fischoeder, R., Thermische Nutzung von Fangstoff aus der Papier- und Kartonherstellung (in German only) (Thermal utilization of residual materials from paper and paperboard production), UBA-Report II 1.1-30441-6/4, 1995

[Folke, 1994]
Folke, J.; Mogensen, U., Produktion og miljøforhold I papirindustrien, Miljøministeriet Miljøstyrelsen, 1994

[Fromson, 1993]
Fromson, D.A., Wootton, P., Good project execution: a science not an art, 47th Annual General Conference, Roorua, Australia, April 1993

[Fuhrmann, 1998]
Fuhrmann, A., Rasimus, R., Rautonen, R., Ozone bleaching - New encouraging perspective, Paper and Timber 4/1998

[Gartz, 1996]
Gartz, R., Waste heat evaporation of paper mill process waters. An R&D project at Enso-Gutzeit Oy Kotka mills, TAPPI International Environmental Conference, Orlando, 1996

[Gatz, 1996]
Gatz, C.; Meyer, G.; Cordes-Tolle, M.; Möbius, C.H, Reinigung von Produktionsabwässern aus der Papiererzeugung durch eine zweistufige Biofor-Filteranlage (Cleaning paper mill production wastewater using a two-stage Biofor filter plant, in German only), UBA-Report 7028, 1996

[Gartz, 1998]
Gartz, R., Evaporation of mill effluent is in sight. An R&D project at Enso-Gutzeit Kotka Mills has opened the possibility of effluent-free paper manufacture, PPE, No. 1, 1998, p. 20- 23

[Guillet, 1997]
Guillet, F., Sludges utilization (in French only), Congress 22.10.1997 in Bourdeaux-Lac: 50 years of technical progress. Springboard for future innovations, session 5: Environment and valorization of sludges: assessment, concrete actions and perspectives

[Hamm, 1991]
Hamm, U., Bobek, b., Göttsching, L., Anaerober Abbau von Abwässern Altpapier verarbeitender Papierfabriken (in German only), Das Papier 45, No. 10A, p. V55-V63, 1991

[Hamm, 1996]
Hamm, U., Utilization and final disposal of paper mill waste - what is the answer (only in German), Wochenbl. F. Papierfabr. (1996), Nr. 9, 409 - 413

[Haskoning, 1992]
Haskoning, BAT Pulp Industry - Selection of Parameters, EU, 1992

[Haskoning, 1994]
Implementation of Best Available Techniques BAT in the Pulp Industry, Haskoning, on behalf of the European Commission, Final Report Contract No: B4-3040/012185/92, 1994

[Helble, 1999]
Helble, A., Schlayer, W., Liechti, P.-A., Jenny, R. and Möbius, C.H. (1999). Advanced effluent treatment in the pulp and paper industry with a combined process of ozonation and fixed bed biofilm reactors. Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[HMIP, 1993]
Her majesty's Inspectorate of Pollution Department of the Environment (HMIP), Pollution Control for Paper and Pulp Processes, DoE Report No: DoE/HMIP/RR/93/036/Sector No: 1.1, 1993

[HMIP, 1995]
HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/8 the Making of Paper Pulp by Chemical Methods, 1995, ISBN 0 11 753 1057

[HMIP, 1995]
HMIP, Chief Inspector's Guidance to Inspectors. Process Guidance Note IPR 6/9 The Papermaking and Related Processes, Including Recycled Fiber and Deinking, 1995, ISBN 0 11 753 1065

[Höök, 1997]
J. Höök, P. Tomani, Towards the closed cycle mill for bleached pulp - milestones and stumbling blocks, Das Papier 6 A, 1997, p. V 54 - 59

[IFP, 1997]
Bobek, B., Hamm, U., Göttsching, L., Biodegradability of chemical additives for papermaking and paper converting (in German only: Biologische Abbaubarkeit von chemischen Hilfsstoffen zur Papierherstellung und Papierverarbeitung), Final Report AiF-No: 10213, Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1997

[IFP, 1998]
Göttsching, L.; Hamm, U.; Putz, H.-J., Report on BAT for the Production of Case making Materials (Testliner and Wellenstoff), Institute of Paper Science and Technology, Darmstadt, Germany, 1998 on behalf of Groupement Ondulé

[IPTS, 1997]
IPTS, The legal definition of waste and its impact on waste management in Europe, EUR-17716-EN, Nov. 1997

[J. Pöyry, 1992]
Pöyry, J., Tech/Econ Evaluation of Water Pollution Control in Pulp Mills, 1992

[J. Pöyry, 1993]
Pöyry, J., Environmental Issues in Nordic Pulp and Paper Industry, Nordic CoM, 1993

[J. Pöyry, 1994a]
Pöyry, J., Air Pollution Control measures in Pulp Mills, 1994

[J. Pöyry, 1994b]
Pöyry, J., Techno-Economic Study on the Reduction Measures, Based on BAT of Emissions (water, waste,air) from the Paperand Board Manufacturing Industry, European Commission - DG XI, 1994

[J. Pöyry, 1997b]
Pöyry, J., A compilation of BAT techniques in Pulp and Paper Industry. Jaakko Pöyry Oyj, 1997

[J. Pöyry, 1998]
Jaakko Pöyry Consulting, Consortium. BAT emissions of the pulp and paper industry in the European Union. Strategic background paper, Helsinki, 1998

[Justin, 1994]
Justin, R.; Plankensteiner, W. Schlöger, H. et al, Integrated Environmental Protection in the Paper Industry - Overview, Austria, 1994

[Kari, 1996]
Kari, F.G., Giger, W., Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment, Wat. Res. Vol. 30, No. 1, pp. 122 - 134, 1996.

[Kaindl, 1999]
Kaindl, N., Tillman, U. and Möbius, C.H. (1999). Enhancement of capacity and efficiency of a biological waste water treatment. Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, Tampere

[Koepp-Bank, 1991]
Koepp-Bank, H.-J., Biologische Reinigung des Abwassers einer altpapierverarbeitenden Papierfabrik (in German only), Allg.Papier-Rdsch. 115, No. 40, p. 1092-1098, 1991

[Krieger, 1998]
Krieger, U., New developments in rejects and sludge dewatering, Paper Technology 39, No. 4, p. 45-50, 1998

[Legnerfält, 1997]
Legnerfält, B., Hallgren, O., Nygren, A., Evaporation as a CTMP mill
kidney, 1997

[Lövblad, 1991]
Lövblad, R., Moberg, G., Olausson, L., Boström, C.-A., NOx Reduction from a recovery boiler by injection of an enhanced urea solution (NOxOUT process), TAPPI Proceedings, Environmental Conference, April 1991

[Lorson, 1996]
Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Black Liquor Recovery by Pressurized, Oxygen-Blown Gasification, Noell, Inc.

[Lorson, 1996]
Lorson, H.; Schingnitz, M.; White, V.F.; Dean, D.R, Emerging Gasification Applications, Noell, Inc., 1996

[Merkel, 1997]
M. Merkel, Waste Paper Treatment and Energy Consumption, (in German), WfP No.5, 1997, p. 211-215

[Metcalf, 1991]
Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, 3rd ed., revised by G. Tchobanoglous & F.Burton, McGraw-Hill International Editions, ISBN 0-07-041690-7

[Ministry of Education, 1994]
Höyrykattilatekniikka (“Steam boiler engineering”), A Publication of the Finnish Ministry of Education, 1994

[Ministry of Food, Agriculture and Forestry, 1997]
Environmentally compatible pulping processes (in German: Umweltverträgliche Holzaufschlußverfahren"), on behalf of Ministry of Food, Agriculture and Forestry, Project.No. 95 NR076-S, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 1997, ISBN 3-7843-2877-6.

[Möbius, 1997 a]
Möbius, C.H., Cordes-Tolle, M., Enhanced biodegradability by oxidative and radiative wastewater treatment, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 245-250

[Möbius, 1997 b]
Möbius, C.H., Pulp and paper industry wastewater. Biological treatment of wastewater from pulp and paper manufacturing (in German only: Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie. Biologische Reinigung von Abwässern aus der Erzeugung von Papier und Zellstoff), 2nd Edition, Munich, Germany, 1997

[Möbius, 1999]
Möbius, C.H., Inside wastewater biofilters used for advanced treatment of papermill effluent, Proc. 6th IAWQ-Symposium on Forest Industry Wastewaters, June 1999, Tampere, Finland

[Mönningmannn, 1996]
Mönnigmann, R., Schwarz, M., Abwasserfreie Papierfabrik - Traum oder Alptraum ? (in German only), Das Papier 50, No. 6, p. 357-364, 1996

[Naturvårdsverket, 1996]
Naturvårdsverket (SE), Action Programme for Waste (Mål för särskilda avfallsslag), Naturvårdsverket, 1996

[Nivelon, 1997]
Nivelon, S., Pichon, M., Piollet, A., Deconcentration treatment for corrugating medium papermaking circuits: target zero reject, 84th Annual Meeting, Technical Section CPPA, A 123-A 126, 1997

[Nokelainen, 1995]
Nokelainen J., Piirainen R., Wet end control- results and new possibilities. Pulp & Paper Conference “EcoPaper/Tech”. Helsinki June 1995, p. 21 - 30, Finland

[Nokelainen, 1997]
Nokelainen J., Artama M., Farrand N., Control of retention and ash, PIRA Conference Proceedings “ Use of minerals in Papermaking”, February 1997, Manchester, UK

[Nordic Council of Ministers, 1993]
Nordic Council of Ministers, Study on Nordic Pulp and Paper Industry and the Environment, Nordic Council of Ministers, 1993

[Nygard, 1997]
Nygard, S., Hietanen, S., Roitto, I., Alho, J., Coating chemical regeneration by ultrafiltration, 1997

[Ojala, 1999]
Ojala, t., Condebelt drying process benefiting paper- and boardmanufacturing and converting, presentation at Aticelca/ATI Convention in Milan, April 19, 1999, Energetic evolution in the paper sector

[Öko-Institut, 1993]
Öko-Institut (DE), Report about investigations at 10 paper manufacturing plants in the federal state Hesse concerning the implementation of Art 5 (in German only), Hessisches Ministerium für Umwelt, Germany, 1993

[Öller, 1997 a]
Öller, H.-J., Weinberger,G., Demel, I., Enhanced COD elimination and colour stripping by ozone treatment of biologically treated mill effluents (in German only), Das Papier No 4, (1997), p. 177- 182

[Öller, 1997 b]
Öller, H.-J., Weinberger,G., Demel, I., Reduction in residual COD in biologically treated paper mill effluents by means of combined ozone and ozone/UV rector stages, Water Sci. Technol. 35 (1997), No 2-3, p. 269-276

[Paper and Timber, 1993]
Firing pulp and paper making residues at small power plants, Paper and Timber Vol. 75/No. 8, 1993

[Papermaking Science and Technology, 1999]
Papermaking Science and Technology, Book 5: Mechanical Pulping, (ed.)
Sundholm, J., published by Fapet Oy, Helsinki, Finland, 1999, ISBN 952-5216-05-5
(This book is one out of a series of 19 books on pulp and paper
industry. These recently published 19 volumes cover descriptions of
latest technology and future trends for all pulp and paper grades)

[Paper News a]
Landström, L.; Pettersson, H., Two of the world's most silent board machines, MoDo Iggesund Paperboard BM 2 and Stora Paperboard Skoghall BM 8, Paper News, Valmet

[Paper News b]
Petterson, H., Environmentally friendly air systems for pulp, paper and board machines, Paper News, Valmet

[PARCOM, 1992]
PARCOM, Report on Pulp and Paper Industry, PARCOM, 1992

[PARCOM, 1994]
PARCOM, BAT and BEP for the Sulphite and Kraft Pulp Industry, PARCOM, 1994, ISBN 0946 56 367

[Pfitzner, 1999]
Pfitzner, Th., Process Water Systems in Newsprint Paper Mills (in German only: Wassersysteme von Zeitungsdruckpapierfabriken), Wochenbl.f.Papierfabrik., No. 4, P. 223-226, 1999

[Proceedings, 1997 a]
Proceedings of the European Conference on Pulp and Paper Research - The present and the future, October 9/11, 1996, Stockholm, Sweden, EUR 17467, ISBN 92-827-9327-3.

[Proceedings, 1997 b]
Proceedings of the 3rd International Conference on Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper Mill Effluents, Rotorua, New Zealand, 9 - 13 November 1997

[PTS, 1998]
N.N., Operation of biological Wastewater Treatment Plants - Reasons and Prevention of Disturbances (in German only: Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen - Ursachen und Vermeidung von Betriebsstörungen), (ed.) Demel, I., Schmid, F., Papiertechnische Stiftung PTS (The Paper Technology Specialists), PTS-Seminar, 1998

[PTS-FB 09/97]
Öller, H.-J., Kappen, J., Measures for reduction of gaseous emissions from paper and coating machines (only in German), Munich: Papiertechnische Stiftung (PTS), 108 p., PTS Research-report PTS-FB 09/97

[Pulp & Paper, 1993]
Lavigne, J.R., Pulp & Paper Dictionary, Millar Freeman Books, San Francisco, 1993

[Rampotas, 1996]
Rampotas, C., Terelius, H., Jansson, K., The netfloc system - the tool to remove extractives and NPE, 1996 Tappi Minimum Effluent Mill Conference, 1996.

[Regenex, 1996]
N.N., Regenex RCF system at TAPPI, Paper Equipment & Material International, March-April 1996

[Rentz, 1996]
Rentz, O., Schleef, H.-J., Dorn, R., Sasse, H., Karl, U., Emission control at stationary sources in the Federal Republic of Germany, Volume I, Sulphur oxide and Nitrogen oxide emission control, French-German Institute for Environmental Research University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, August 1996

[Retulainen, 1998]
Retulainen, E., Merisalo, N. Lehtinen, J. Paulapuro, H., Effect of Condebelt press drying in sheet structure and properties, Pulp Pap. Can., Vol 99, No 1, 1998, p. 53-58

[RIZA, 1997a]
Senhorst, H.; Zwart, L.; Boulan, R.P.; Luttmer, W., A Broad Approach to Water Loop Closure at Papierfabriek Doetinchem (and Appendix Report), RIZA-document 97.188X, RIZA, 1997

[RIZA, 1997b]
Benschop, P., The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of Surface water Act, Riza report 98.005, Lelystad, 1997, ISBN 903 6951569

[Roberts, 1998]
Roberts, J. Wastepaper yields more treasure. There's more to be extracted from wastepaper than just fibre, Pulp and Paper Europe (PPE) Number 5, 1998, p. 33-34

[Roitto, 1997]
Roitto, I., Alho, J., Environment-friendly coating: recycling of coating chemicals, Executive conference on profitable making of coated papers, April 7 to 10, 1997, p. 69-79

[Saarinen, 1998]
Saarinen, K., Jouttijärvi, Forsius, K., Monitoring and control practices of emissions in pulp and paper industry in Finland, The Finnish Environment 220, Finnish Environment Institute, Helsinki, 1998, ISBN 952-11-0308-6

[Schwarz, 1995]
Schwarz, M., Peripheral subsystems for water, sludge and rejects (in German only), WfP, No. 18, p. 792-802, 1995

[Sebbas, 1988]
Sebbas, E., Reuse of kraft mill secondary condensates, Tappi Journal, July 1988.

[SEPA report 4008, 1992]
Pöyry, J., Reduction of Atmospheric Emissions from Pulp Industry, on behalf of Swedish EPA, 1992

[SEPA report 4869, 1996]
SEPA report 4869, "Skogsindustrins utsläpp till vatten och luft samt avfallsmängder och energiförbrukning 1996" (The Forest Industry´s emissions to the atmosphere and water, amounts of waste and consumption of energy), 1996

[SEPA report 4785, 1997]
Swedish Environmental Protection Agency, 1997, Environmental Impact of Pulp and Paper Mill Effluents. A strategy for Future Environmental Risk Assessments, Report 4785, ISBN 91-620-4785-X

[SEPA-Report 4712-4, 1997]
Energy conservation in the pulp and paper industry, Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[SEPA-Report 4713-2, 1997]
Aspects on Energy and Environment Costs in Connection with Production of Kraft Pulp, Recycled Fibre and TMP. Jaakko Pöyry Consulting AB. 1997

[Solid Waste Handbook, 1996]
Consortium solid waste handbook (ed.), 1996. Solid waste handbook for the paper industry, (in German), ISBN No. 3-9521198-0-6

[SSVL 1974]
Skogsindustrins miljövårsprojekt, Teknisk sammanfattning, SSVL 1974

[StoraEnso, 1999]
StoaraEnso, 1998 Simplified Environmental Statement, Sachsen mill, 1999

[Swedish EPA, 1992]
Statens Naturvardsverk (S), BAT (Miljöstörende Anläggningar), Statens Naturvardsverk (S) (1992)

[Sweet, 1993]
Sweet, F.W., Manolescu, D.R., Mason J.C., Millar Western's zero liquid effluent market BCTMP mill one year after start-up, Pacific Coast and Western Branches Conference, CPPA, Whistler, B.C. May 1993

[Talja, 1998]
Talja, R., Bäckström, M. Kilian, M., Impulse technology - a paper making process for tomorrow, EcoPaperTech, 1998

[Tappi Environmental Conference, 1992]
Josephson, W., Krishnagopalan, Ch.A., Brownstock washer performance and control. Tappi Proceedings, Environmental Conference, 1992

[Tappi, Proceedings, 1994]
Tappi, Proceedings 1994, Key design features of the DNCG system at Howe Sound Pulp and Paper Ltd.

[Tappi Proceedings, 1996]
Design considerations for cost-effective kraft and sulphite pulping liquor spill control system, Tappi Proceedings, Minimum effluent Mill Symposium, 1996

[Tappi, Proceedings, 1997]
Tappi, Proceedings 1997, Environmental Conference May 5-7, 1997. Odour abatement systems of the modern pulp mill and relative importance of prevailing TRS emissions sources.

[Teppler, 1996]
Teppler, M., Paatero, J., Bergdahl, J., Damen, H., PM and BM white water treatment with membrane technology, in: PTS-Manuskript, PTS-MS 21/96, Munich, Germany, 1996

[Tomani, 1997]
Tomani, P., Report to European Commission DG XII. Project: "Separation methods for closed loop technology in bleached kraft pulp production", 1996 - 1999. See also: Jönsson, J., Report to European Commission DG XII. Project: "Closed cycle mill for high quality chemical pulp", 1996 – 1999.

[Tripathi, 1996]
Tripathi, P., Pinch technology reduces wastewater. Mass exchange integration maximizes water recycling at a paper mill, Chemical engineering, Novemeber 1996, p. 86- 90

[UBA Report 7041, 1996]
UBA-Report 7041(German EPA, Berlin), Avoidance of wastewater by closed water loops with in-line process water treatment in a paper mill, (in German only: Abwasservermeidung durch geschlossene Produktionskreisläufe mit integrierter Kreislaufwasserbehandlungsanlage in einer Papierfabrik), Berlin, 1996

[Uhlmann, 1991]
Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, Vol. 18 A (alphabetically arranged articles) Paper and Pulp, completely rev.ed., 1991, ISBN 3-527-20118-1

[UNEP, 1996]
UNEP, Effluent Discharge Standards, UNEP, 1996

[US EPA, 1993]
Handbook on pollution prevention opportunities for bleached kraft pulp and paper mills, USEPA, 1993

[USEPA, 1992]
Total Cost Assessment: Accellerating IPPC Measures, USEPA, 1992

[USEPA, 1993]
Guidance Manual for Developing Best Management Practices, USEPA, 1993

[USGI, 1995]
EPA Sector Notebook: Pulp and Paper Industry, USGI, 1995

[van Ginkel, 1997a]
van Ginkel, C.G., Stroo, C.A., Treatability of EDTA containing wastewaters from bleaching plants in an activated sludge plant, Akzo Nobel Central Research, Internal Report, 1997

[van Ginkel, 1997b]
van Ginkel, C.G., Vandenbrouke, K.L., Stroo, C.A., Biological Removal of EDTA in conventional activated sludge plants operated under alkaline conditions, Bioresource Technology 59 (1997), 151-155.

[Virtapohja, 1997]
Virtapohja, J., Alén, R., Accelerated biodegradation of EDTA in a conventional activated sludge plant under alkaline conditions, 1997 TAPPI Environmental Conference, Minnesota, USA, May 5-7, 1997, Book 2, p. 991-997.

[Ward, 1993]
Ward, R.O, Manolescu, D.R., Sweet, F.W., Millar Western Meadow Lake. A success story in effluent treatment, Joint Conference of Environment Canada and the German Ministry of Environment, Munich, Germany, Nov. 1993

[WBCSD, 1996]
Towards a Sustainable Paper Cycle, WBCSD, 1996

[Wigsten, 1995]
Wigsten, A., Towards ecobalanced paper production, EcoPaperTech Conference, 6.6.19995, Helsinki, Finland

[Winell, 1997]
Winell, B., Chemicals Use (Kemikalier), Sweden (1997)

[Wünschmann, 1993]
Possibilities of utilization of residues from paper industry in agriculture and land reclamation (only in German), Das Papier 47 (1993), Nr.10A, V119-V126

[Wünschmann, 1995a]
Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 1: fundamentals about composting and requirements to composting materials (only in German), Wochenbl. f. Papierfabr. 123 (1995), Nr.9, 395-403

[Wünschmann, 1995b]
Composting of wastepaper and residues from paper industry, part 2: analysis of the compostability in lab-scale (only in German), Wochenbl.f.Papierfabr. 123 (1995), Nr.16, 707-714

[Young, 1998]
Young, R.A., Akhtar, M. (Ed.), Environmentally Friendly Technologies for the Pulp and Paper Industry, John Wiley&Son.Inc., New York, 1998, ISBN 0-471-15770-8

[Zippel, 1999]
Zippel, F., Water Management in Paper Mills (in German only: Wasserhaushalt in Papierfabriken), Frankfurt am Main, Germany, Dt. Fachverlag, 1999, ISBN 3-87 150-619-2

[Zunich, 1993]
Zunich, J.L., Vora, V.M., Venkataram, B., Design considerations for steam stripping of kraft mill foul condensates. TAPPI Environmental Conference Book 1993.

GLOSSAR DER BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

Units and Conversion factors/Einheiten und Umrechnungsfaktoren

- a = annum, year, 365 days = Jahr, 365 Tage
- d = day, 24 hours = Tag, 24 Stunden
- h = hour(s) = Stunde(n)
- 1 kWh = 3.6 MJ = 3,6 MJ
- 1 MJ = 0.2778 kWh = 0,2778 kWh
- 1 kg Dampf = unter der Annahme eines Drucks von 2,5 bar in den Dampfrohrleitungen beträgt die nutzbare Wärmeenergie des Dampfes ungefähr 0,7 kWh/kg Dampf oder ungefähr 2,5 MJ/kg Dampf
- 1 kg steam = Assuming a pressure of 2.5 bar in the steam pipings the heat of steam which can be used corresponds to about 0.7 kWh/kg steam or about 2.5 MJ/kg steam
- ppm = Wert multipliziert mit dem Molekulargewicht geteilt durch 22,41 = mg/m^3; z.B. 1 ppm NO_2 = 2,05 mg NO_2/Nm^3 oder 1 ppm SO_2 = 2,85 mg SO_2/Nm^3
- ppm = Value multiplied by Molecular Weight divided by 22.41 = mg/m^3; e.g. 1 ppm NO_2 = 2.05 mg NO_2/Nm^3 or 1 ppm SO_2 = 2.85 mg SO_2/Nm^3
- t = metric tonne ($1 * 10^6$ gram) = Tonne ($1 * 10^6$ Gramm)
- m^3n or Nm^3 = normalized (standard) cubic metre; the volume a gas occupies at atmospheric pressure (1013 mbar) and 273.15 K (= 0°C) = Normkubikmeter; das Volumen, das ein Gas bei Atmosphärendruck (1013 mbar) und bei einer Temperatur von 273,15 K (= 0°C) einnimmt
- I-TEQ = PCDD/F international toxicity equivalents = internationale Toxizitätsequivalente für PCDD/F
- °C = degree Celsius = Grad Celcius
- µ = micro = Mikro = $1 * 10^{-6}$

Abbreviations/Abkürzungen

Abf. St.	Abfiltrierbare Stoffe
Adt = Adt = t	Air dry metric tonne of pulp meaning dry solids content of 90 %. Please note that an air dry tonne of paper is defined as paper with 6% moisture content.
AOX	Adsorbable Organic Halides measured according to the ISO 9562: 1998 standard method for wastewaters = Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
BAT	Best Available Techniques, as defined in Article 2(11) of the IPPC Directive = BVT
BOD_5/BOD_7	Biological Oxygen Demand indicating the amount of biodegradable organic matter in the wastewaters assessed using a standard 5 day or 7 day test.
BREF	Best Available Techniques Reference Document = Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken
BSB_5/BSB_7	Biologischer Sauerstoffbedarf, der die Menge an biologisch abbaubaren organischen Stoffen im Abwasser angibt und mit einer Standardmethode nach 5 oder 7 Tagen bestimmt wird
BVT	Beste verfügbare Techniken
C	Chlorination bleaching stage using molecular chlorine dispersed and dissolved in water
COD	Chemical oxygen demand indicating the amount of chemically oxidisable organic matter in the wastewaters (normally referring to analysis with dichromate oxidation)
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSF	Canadian Standard Freeness - a measure of the rate at which water drains from a pulp, the smaller the number the slower draining is the pulp.
CTMP	Chemi-thermo-mechanical pulp = chemisch (thermomechanischer) Holzstoff
D	Chlorine dioxide bleaching stage using a water solution of chlorine dioxide (ClO_2)
DAF	Dissolved Air Flotation = Entspannungsflotation
D/C	Bleaching stage with chlorine dioxide and chlorine where chlorine dioxide dominates over chlorine (which can be specified with percentages of active chlorine e.g. D_{90}/C_{10} meaning 90 % chlorine dioxide and 10 % chlorine)
d.h.	das heißt
DIP	Deinked pulp – pulp produced from recovered printing paper, e.g. newsprint, through de-inking process = deinkter Faserstoff

DS	Dry solids
DTPA	Diethyl Triamine Penta Acetic acid, complexing agent = Diethylendiaminpentaessigsäure, Komplexbildner
E	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide (NaOH)
ECF	Elemental Chlorine Free (bleaching) = elementarchlorfreies Bleichen
EDTA	Ethyl Diamine Tetra Acetic acid, complexing agent = Ethylendiamintetraessigsäure, Komplexbildner
e.g.	for example (exempli gratia, latin)
E/O	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of gaseous oxygen as a reinforcing agent
EOP	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of oxygen and hydrogen peroxide solution as a reinforcing agent
E/P	Extraction bleaching stage using sodium hydroxide with subsequent addition of hydrogen peroxide solution as a reinforcing agent
EPA	Environmental Protection Agency
EQO	Environmental Quality Objective
ESP	Electrostatic precipitator
ETS	European Tissue Symposium, European Association of Tissue Manufacturerers
Euro	European currency unit
FAS	Formamidine sulfonic acid; reductive bleaching agent
FEI	Finnish Environment Institute
ges-C	gesamter organischer Kohlenstoff (im Abgas)
ges-N	Gesamtstickstoff (im Abwasser)
ges-P	Gesamtphosphor (im Abwasser)
ges-RS	geamter reduzierbarer Schwefel (im Abgas)
GW	Groundwood pulp = Holzstoff
HC	High consistency - pulp concentration in the interval 30 - 50% dry solid content
H_2O_2	Hydrogen peroxide
i.e.	that is (id est, latin)
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISV	Sludge Volume Index; Volume in ml occupied by 1 gram of activated sludge after settlement under specified conditions for a specified time, usually 30 minutes.
% ISO	Brightness unit according to ISO, the International Organisation for Standardisation
LC	Low consistency - pulp concentration in the interval 3 - 5% dry solid content
LWC	Lightweight coated paper = LWC-Papier
MBR	Membrane Bioreactor
MC	Medium consistency - pulp concentration in the interval 8 – 15% dry solid content
MEuro	1 million euros, a European currency unit
Mg	Magnesium
Mio. EUR	Millionen EUR
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids
MWC	Medium weight coated paper
NCG	Non-condensable gases referring to malodorous gases of chemical pulping = nicht kondensierbare Gase, die auf übelriechende Gase aus der Zellstoffherstellung zurückgehen
Ndg	normal dry gas related to standard conditions
Nsp	net seleable paper
NO_x	The sum of nitrogen oxide (NO) and nitrogen dioxide (NO_2) expressed as NO_2 = Stickoxide
NPE	Non Process Elements that can accumulate when closing up the water circuits in pulp mills such as Al, Si, Ca, Ma, Mn
NSSC	Neutral Sulphite Semi Chemical pulp is the most common type of semichemical pulp which is produced by a combination of chemical and mechanical pulping. In the process wood chips are partially digested to weaken the bonds between fibres and lignin. The chips are then mechanically treated in a refiner
O	oxygen bleaching stage
P	Alkaline bleaching stage with hydrogen peroxide (H_2O_2) as liquid
PCDD/F	Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins/Furans = polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und -furane
PGW	Pressurised ground wood (pulping) = Druckholzstoff
Q	Acid bleaching stage where chelating agent EDTA or DTPA has been used for removal of metals

RCF	Recycled fibre(s); pulp obtained from recovered paper processing = Recyclingfasern
RMP	Refiner mechanical pulping
S	1) Sulphur = Schwfel 2) Acid bleaching stage with sodium hydrosulphite ($NaHSO_3$)
SC	Supercalendered paper = superkalandriertes Papier
SC-Papier	superkalandriertes Papier
SEPA	Swedish Environmental Protection Agency
SGW	Stone groundwood (pulp) = Holzschliff
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduction = selektive nichtkatalytische Reduktion
SO_2	Sulphur dioxide = Schwefeldioxid
SS	Suspended solids
TCF	Totally chlorine free (bleaching) = Total chlorfrei gebleicht
TMP	Thermo-mechanical pulp = (thermomechanischer) Holzstoff
TRS	Total reduced sulphur meaning the sum of the following reduced malodorous sulphur compounds generated in the pulping process: hydrogen sulphide, methyl mercaptan, dimethylsulphide and dimethyldisulphide expressed as sulphur = gesamter reduzierter Schwefel.
TS	Trockensubstanz
TSS	Total suspended solids (in wastewater) = abf. St.
TSP	Total solid particulates (in flue gases), dust = Gesamtstaub
VOC	Volatile Oranic compounds = Flüchtige organische Stoffe
WWTP	Wastewater treatment plant
Z	Ozone bleaching stage using gaseous ozone (O_3)
z.B.	zum Beispiel

Definition of terms

Air dry	Air dry tonne of pulp (Adt) meaning dry solids content of 90 %
Absolute dry	Dry solids content of pulp of 100%; also called bone dry (b.d.) or oven dry (o.d.)
Achievable value	When using a particular technique or combination of techniques achievable level means that a certain emission level may be expected to be achieved over a substantial period of time (e.g. a year) in a well designed, well maintained and well operated installation or process using those techniques
Bleaching	the process of brightening the fibre by removal of the coloured substance or by decolourising it
Broke	Paper that has been discarded anywhere in the process of manufacture
Brownstock	the suspension of unbleached pulp
Chemical pulp	Fibrous material obtained by removal from the raw material of a considerable part of those non-cellulosic compounds that can be removed by chemical treatment (cooking, delignification, bleaching)
Consistency	The weight percent of air-dry (or oven dry) fibrous material in a stock or stock suspension. Low consistency (3% - 5%, LC), medium consistency (10% - 15%, MC) and high consistency (30% - 50%, HC) are distinguished
Couch pit	chamber beneath press section end of formation table to receive edge trim and sheet breaks in papermaking
Cross media effects	Possible shift of environmemtal pressure from one environmental compartment to the other. This is for example the case when a filter is installed to abate atmospheric emissions; the air is cleaned but a waste is generated
Daily production capacity	The weight of products (air dry mass) an installation can produce during one day
Deinking	the process of removing ink from printed wastepapers, but also involving general removal of other undesirable materials
Disperging	mechanical treatment of wastepaper fibres to disperse ink particles
Dry end	Part of the papermaking process after formation of the paper web
Fillers	papermaking additives, usually mineral clays or calcium carbonates
Fines	small particle sized material in papermaking usually defined as material below 75 microns
Furnish	The mixture of various materials that are blended in the stock suspension from which paper or board is made. The chief constituents are the fibrous material (pulp), fillers, sizing agents, wet-strength or other additives, dyes, and dyes
Grammage	the areal mass of the paper/board, usually expressed as g/m2
Hardwood	Group of wood species including the following pulpwoods: aspen, beech, birch and eucalyptus
Head box	Pulp feed to the paper machine starts here
Installation	A stationary technical unit where one or more products are produced
Integrated production	An installation in which the production of paper and/or board is directly connected with the production of pulp
Kappa number	A measure of residual lignin content in unbleached pulp, determined after pulping and prior to bleaching. The lower the Kappa number the less associated lignin
Kraft pulp	Chemical pulp which has been manufactured using sodium sulphate as the main cooking chemical
Levels associated with BAT	Emission (and consumption) levels that represent the environmental performance that could be anticipated as a result of the application of BAT, bearing in mind the balance of costs and advantages inherent within in the definition of BAT
Lignin	this is the binding substance in natural fibres and is a complex organic polymer with an irregular structure
Magnefite	magnesium base sulphite pulping process
Mechanical pulp	Paper making pulp made entirely by mechanical means from various raw materials i.e. by grinding wood against an abrasive surface (ground wood pulp) or by processing wood chips or sawdust through a refiner (refiner mechanical pulp). Mechanical pulp contains considerable part of non-cellulosic compounds

MF resin	melamine formaldehyde resin
Non integrated production	An installation in which the production of paper and/or board is not directly connected with the production of pulp. Either pulp or paper and/or board is produced
Paper	Sheet of fibres with a number of added chemicals. According to the basic weight it can be distinguished: Paper < 150 g/m^2 < paper-board (or board) < 250 g/m^2 < cardboard
Pitch	a resinous material in virgin pulps
Pulping	the process of converting raw fibre (eg wood) or recycled fibre to a pulp usable in papermaking with minimal further treatment
Refining	process of mechanically treating fibres to develop strength
Save-all	An apparatus used for reclaiming fibres and fillers from white water. It usually operates on a filtration, sedimentation, flocculation, or flotation principle
Soap	The product of reaction between the alkali in kraft pulping liquor and fatty acid portions of the wood, which precipitate out when water is evaporated from the spent pulping liquor
Softwood	Group of wood species including the following pulpwoods: pine and spruce
Specific water consumption	the amount of fresh water consumed during production (surface water, ground water), which is taken out from external resources. This fresh water demand is related to air dry net production and is expressed as m^3/t. Fresh water that is only used for cooling purposes (i.e. water that had no contact with fibres and additives) and that is directly discharged into the recipient is not included. Also wastewater generated in steam and power plants on site is not included.
Stickies	Materials that stick together; adhesive contaminants in recovered paper
Stock	the mixed suspension of fibre and other materials used to form the paper
Sulphite pulp	Chemical pulp where various sulphites or bisulphites are used as main cooking chemical
Thermo-mechanical pulp	Papermaking pulp made entirely by mechanical means from various raw materials, but usually wood. In the thermo-mechanical pulping process the raw material is subjected to thermal pre-treatment. Thermo-mechanical pulp contains considerable part of non-cellulosic compounds
Turpentine	A mixture of terpenes, principally pinene, obtained by the steam destillation of pine gum recovered from the condensation of digester relief gases from the cooking of softwoods by the kraft pulping process
UASB	upflow anaerobic sludge blanket reactor/process
UF resin	urea formaldehyde resin
Recycled fibre pulp	Fibrous material that has already passed through paper and/or board production
Wet-end	Part of the papermaking process prior to formation of the paper web
White water	A general term for all waters of a paper mill that have been separated from the stock or pulp suspension, either on the paper machine or accessory equipment, such as thickeners, washers, save-alls, and from pulp grinders. It carries a certain amount of fibre and may contain varying amounts of fillers and dyestuffs
Wood-containing paper and/or board	Paper and board having considerable part of non-cellulosic compounds (more than 5%) as an essential constituent of its fibre composition
Woodfree paper and/or board	Paper and board having in principle only chemical pulp in its fibre composition; in practise however it may contain a small amount of other fibres or pulps (less than 5% non-cellulosic compounds)
Yankee cylinder	large single cylinder used mainly to dry tissue/towels
Yield	the amount of useful fibre after pulping and/or bleaching or deinking expressed as a percentage of the raw fibre

ANHANG I CHEMIKALIEN UND ADDITIVE FÜR DIE PAPIERHERSTELLUNG

In the paper industry a large number of chemicals are used. On the one hand process chemicals for the production of pulp are required, on the other hand chemical additives and auxiliaries are applied in paper production. Only chemical additives and auxiliaries will be discussed here. Chemical additives are used to give paper various characteristics while chemical auxiliaries are used to increase efficiency and reduce disruption of the production process.

Since chemical additives are designed to give paper a particular characteristic, for reasons of cost and efficiency they generally have a high level of retention to the cellulose fibres. Most of the chemicals are therefore retained in the paper. Chemical auxiliaries, on the other hand, often have a low level of retention and a large proportion is discharged with the wastewater. A product with a chemical additive often contains chemical auxiliaries designed to facilitate the use of the product, e.g. emulsifiers that ensure better accessibility for substances in the water system, which are difficult to dissolve in water. These chemical auxiliaries also have little affinity to cellulose. Depending on the chemicals' degradability and the wastewater treatment plants' ability to deal with them they may end up in the outside environment.

The most common groups of chemicals used in the paper industry are examined below from the environmental point of view. The text below focuses on the most common groups of substances which are only an extract out of a longer list of chemicals that are actually in use (according to a Swedish survey in all around 1300 products involving around 800 substances are used in the Swedish paper industry). The discussion includes always information on the function, the substances involved and the expected emission and effects. Where available an indication is given about possibilities to control releases or to reduce the impact on the environment.

The following chemical additives are discussed on the following pages:

- Fillers
- Sizing agents
- Wet strength agents
- Dry strength agents
- Coating chemicals
- Brighteners or flourescent whiteners
- Dyes
- Retention aids
- Defoamers
- Dispersion agents and surfactants
- Biocides for incoming water
- Biocides (slimicides) for the process water circuits

In different countries surveys were carried out to identify substances which on environmental grounds are candidates for replacement in accordance with the substitution principle. The substitution principle means that when using chemicals, hazardous products should be avoided if they can be replaced by less hazardous ones. A substance' s environmental hazardousness is determined by assessing its intrinsic characteristics with regard to the environmental parameters toxicity, biodegradability and bioaccumulation. Unfortunately, much of this information is still lacking for both the candidate for replacement and the suitable alternative. Therefore, there is a need to develop a kind of survey on a European level that can be used by operators and inspectors as well. This survey should aim at candidates for replacement i.e. "high risk" chemicals that should be removed and replaced with "low risk" types, without impairing the papermaking process.

Fillers (product aids)
Function: Papermaking fillers are added to give opacity, brightness and surface smoothness as well as being cheap extenders replacing fibre.

Chemicals: China clay (kaolin) and calcium carbonate are used, typically, at up to 300 kg/ADt. Provided that it is compatible with the paper specification, calcium carbonate would normally be preferred to clay due to the higher and more consistent overall retention achievable. Titanium dioxide, talc, and plastic microspheres are used as in smaller quantities as speciality fillers. Fillers are added at the wet end and 50 - 80% is retained in the paper web depending on whether appropriate retention aid chemicals are also used.

Emission and effects: The retention after fibre and filler recovery is typically in the order of 98%. Those fillers that reach the effluent will be removed to a considerable extent by the primary treatment. However, some discharges to receiving waters may occur, particularly as accidental or temporary discharges. The inorganic fillers are principally insoluble and inert products. The organic fillers have a very low degradability. When released to water fillers may affect light penetration in water bodies (turbidity) and built deposits on sediments.

Sizing agents (product aids)
Function: Sizes are added to improve the paper's resistance to aqueous liquids i.e. makes the paper hydrophobic. Sizes are applied either at the wet end (internal sized paper) or at the size press (surface sizing). They are used in newsprint, printing and writing and packaging papermaking.

Chemicals: Natural products as modified natural resins (resin size), starch or modified starch as well as synthetic products as alkyl ketene dimer (AKD) and other polymers (e.g. copolymers based on acrylic acid esters, maleic acid esters, acrylonitrile and styrole) are used. AKD is the most widely used sizing chemical and its use may be preferable where product specifications allow. When AKD is used 0.1% active substance (referred to dry stock) is sufficient to achieve the effect of fully sizing. To a less extent paraffine wax, polyethylene waxes and fluoro chemicals are applied. Usually emulsifiers and others additives are added to achieve good sizing results.

Emissions and effects: About the retention of furnish added chemicals little is known. As the chemicals have a low solubility, they will most likely adhere to the paper product or be removed to a large extent in effluent treatment plants. For surface sizing chemicals the retention is very close to 100%.

With high addition rates of sizing chemicals in the pulp, operators should show the anticipated release rates through the ETP and the fate of the substances applied.
AKD: biodegrades, low toxicity to bacteria, may bioaccumulate [UK Note IPR 6/9], [J. Pöyry, 1994b]

Resin products: toxic to bacteria, fish bioaccumulation [UK Note IPR 6/9], [J. Pöyry, 1994b]
Modified starches: biodegradable, non-toxic [UK Note IPR 6/9]. No risks of environmental effects are reported.

Wet strength agents (product aids)
Function: These are added at the wet end to the furnish to improve the strength properties of the paper in wet conditions. They are used in such applications as towel products, kitchen rolls, napkins, sack papers, labels, currency, maps and filter papers.

Chemicals: Polymers binding the fibres together as urea formaldehyde (UF) resins, melamine formaldehyde (MF) resins and polyamidoamine-epichlorhydrin based resins (PAA-E) are mainly used. Depending on the area of application the amounts of wet strength agents used vary. Up to 5% solid substance (referred to air dry stock) is added.

Emissions and effects: The retention on the paper machine has been estimated to be > 90%, which means that < 10% leaves the system with the wastewater [J. Pöyry, 1994b]. However, there are current experiences that UF-MF resins are retained at 50-70% only [Wallonia Authority].
UF and MF resins have shown moderate toxicity to fish and are only partly biodegradable.

The UF and MF resins contain some free formaldehyde (typically 2-5%) and more will be released from the cross-linking reaction associated with resin curing. Because of the high solubility of formaldehyde, the majority of the free formaldehyde will remain with the water and pass to the wastewater treatment plant where it is readily biodegradable. However, that water which is evaporated during drying, will release its formaldehyde to atmosphere. The concentration and mass flow for the free formaldehyde released should be determined by measurement of the formaldehyde content of the air leaving the drying section. Where the mass flow is found to be significant then consideration should be given to its capture.

An assessment of the maximum ground level concentrations and the adequacy of the height of the release point would also be required.

Low/free formaldehyde resins (<0.5%) are available, which can be used with little loss of wet strength efficiency in some cases. With some furnishes, however, increased quantities are required, negating the benefits gained. Operators should have thoroughly investigated the possibility of these alternatives.

The PAA-E resins do not release any volatile components during use but they contain organically combined chlorine that will be released to effluent when they are not retained in the paper or the sludge. They are toxic to aquatic organisms and are not biodegradable. During synthesis of the PAA-E resins, epichlorhydrin can also react or form dichloropropanol (DCP), a suspected carcinogen, and chloropropanediol (CPD). For both these reasons, a wide range of PAA-E resins is now commercially available with reduced AOX and DCP/CPD levels and these resins should preferably be used.

Direct spills of these resins can cause fish mortality by attaching to the gills. Systems must be engineered to preclude the possibility of direct releases.

Once fully cured, wet strength papers are more difficult to re-pulp than ordinary papers. Re-pulping of UF/MF-treated papers may lead to formaldehyde releases. Operators should be required to carry out monitoring of these operations to establish the magnitude of releases.

Dry strength agents (product aids)
Function: These chemicals can be added at the wet end or to the paper's surface to improve the strength properties of the paper in dry conditions. They are mainly used for printing and writing paper and to some extent for tissue.

Chemicals: Starch or modified cationic starches are used, as are galactomannans, cellulose derivates (e.g. carboxymethyl cellulose (CMC)), polyacrylamides, and polyvinyl alcohol (size press only). The dominating type used as dry strength agent is starch or cationic starch.

Emissions and effects: Typically, usage of dry strength agents is 10 kg/ADt at the wet end, where retention is poor at 70-90%, but up to 40-50 kg/ADt at the size press. Starch used in a paper mill is to a certain extent released to the white water system. Thus they are contributing to the BOD load of a paper mill being mostly biodegradable and non-toxic. Those, which can be shown to give the highest retention in the plant, should be used where the constraints of the product allow.

Coating chemicals (product aids)
Function: Application of a so-called coating colour to the finished paper in a separate coating machine has the purpose of giving the paper certain surface properties e.g. higher brightness, opacity, gloss and smoothness.

Chemicals: Coatings are mostly an aqueous mixture of pigment and binders. The white pigments largely determine the quality and the cost of the coating. Pigments usually account for at least 80% of the total dry coating weight. Common pigments used are china clay (kaolin), ground and precipitated calcium carbonate and to a lesser extent calcium sulfoaluminate (satin white) and titanium dioxide. The pigment most often used is coating clay but finely ground grades of calcium carbonate have become particularly important, and the amounts used are now comparable to clay.

The function of the binder or adhesive is to bind the pigment particles to each other and to fix the coat to the base paper. Their proportion by weight in the coating colour amount to 5 - 20% based on the pigment. Binders from water-soluble natural raw materials and non-water-soluble synthetic binders can be distinguished. The most widely applied natural binders are starch and its derivates and cellulose ethers such as carboxymethyl cellulose (CMC) which are reasonably biodegradable. The use of natural binders is however limited. As synthetic binders polymer dispersions of non water-soluble coating binders as styrene butadiene latex, polyacrylates and polyvinyl acetate are used and with limited acceptance poly vinyl alcohol (PVA). The styrene-butadiene dispersions are most widely used worldwide. Polymer dispersions used as synthetic binders may contain volatile organic compounds as residual monomers up to quite high levels (<1%) typical levels being dependent on the monomer and processes used. There are also stripped products containing very low VOC levels available.

In addition, a variety of auxiliary agents are used in the formulations: dispersing agents to chemically stabilise the slurry towards reagglomeration for the pigments, wet strength agents (hardeners), products for the control of viscosity and water retention, foam-inhibitors and de-foamers, optical brighteners, shading dyes, lubricants to improve paper calendering and biocides. Coating speciality papers could involve the use of solvents, which are partly emitted to air as volatile organic compounds (VOCs). Lubrication agents include ammonium and calcium stearates, waxes and soaps.

It can be concluded that coating colours may be fairly complicated multi-component systems. There are a large number of different compositions.

Emissions and effects: Coating colours are almost all water based. However, where still applied organic solvent-based coatings should be replaced with water-based ones. Where the mass flow is found to be significant VOC-containing emissions should be collected from the various points by a fan system, followed by incineration or combustion in the power boiler.

During normal operation there is no discharge of coating colours. Losses from spills, washing out and from re-pulping of coated broke should be controlled. Some binders have a negative effect on the external effluent treatment plant and therefore appropriate measures should be provided to deal with it (see 6.3.3 and 6.3.6). The most immediate effect of a larger discharge of coating colour is a change of colour of the receiving water.

Optical brighteners or fluorescent whiteners (product aids)
Function: Optical brighteners are added to enhance the white impression of paper by transferring absorbed UV energy into a blue flourescent light.

Chemicals: These are normally derivatives of 4,4'-diaminostilbene-2,2'-sulphonic acid and are used in many white papers. Optical brighteners are added to the furnish at the wet end, at the size or film press or as component of coating colours.

Potential emissions, environmental effects and possibilities to control releases: Typically, usage is 5-10 kg/ADt and retention poor at 50 - 90%. They are not biodegradable, but will adsorb partly to the sludge of the wastewater treatment plant. That which is released to water bodies will partially photo-degrade (only transformation of the chemical structure). Optical brighteners are weakly/moderately toxic to fish [J. Pöyry, 1994b]. They should be used in the most retentive form and applied at size press where possible. In the production of food packaging paper and

board special attention should be given to the use of optical brighteners. Optical brighteners may contain up to 30% urea as a stablising agent. When not accounted for, this may result in overdosing of nitrogen in the biological wastewater treatment plant.

Dyes (product aids)
Function: Dyes are added to give a certain colour or tint to the paper.

Chemicals: Dyes are mainly added to the furnish at the wet end but also at the size press. For dyeing of paper nearly exclusively organic dyes are used. Basic, acid and direct dyes and pigment can be distinguished. Dyes used are mainly water-soluble versions of azo, stilbene, di & tri phenylmethane, xanthene, acridine, quinoline, azolidene, oxazolidine, thiazolidine, anthraquinone, indigo and phthalocyanine dyes. In addition all dyes contain one or more additives (inorganic and organic chemicals). There is little use of reactive dyes. Solid pigments (e.g. iron oxides, carbon black) are used for high light-fastness. As they do not form bonds with the fibres, there are high losses to water, which must be abated by sedimentation, flocculation or chemical precipitation.
Typically, usage of dyes is from 0.1 kg/ADt for tints, up to 100 kg/ADt for very deep shades.

Potential emissions, environmental effects and possibilities to control releases: The retention varies from 70-98%. Due to the high fibre affinity of basic and direct dyes and the additional use of fixation agents for direct dyes the process water should be free of dyes if dosed carefully. However, for some applications significant emission may occur. It is not possible to give a complete summary of the risks of environmental effects of dyes due to the large number of different substances, and due to the fact that these effects are incompletely known. However, the following should be born in mind:

- Many dyes are known to be toxic to fish and other aquatic organisms
- Dyes are generally known to be hardly biodegradable under aerobic conditions
- Metal ions are incorporated in some dyes.

Where dyes are applied with coatings the coating filter backwash, and the shower water and washout drains in the coating area should be separately collected and membrane technology used to recover the coating colour. The permeate should also be recycled.

Where problems of final effluent toxicity exist despite the above steps, i.e. the effluent has not been rendered harmless, further measures, which can be taken, are:

- Where the dyes (and/or coatings) have been applied at the coating station (i.e. not in the stock), the concentration of these materials in the broke will be high. Consideration should be given to the need to wash the re-pulped broke, before returning to stock preparation, and to treat separately the concentrated washwater.
- Tertiary treatment in the external wastewater treatment.

Dyes which cannot be bleached for re-pulping, either as broke or as wastepaper should be avoided where possible, to minimise waste production.

A wide range of dye additives is incorporated in dye formulations. The majority is either biodegradable or inorganic and might increase the COD. The operator should obtain the information to confirm that this is the case for the formulations employed. Dye fixation agents are often use to support the fixation of direct dyes on the fibres.

Retention aids (process aids)
Function: Retention aids function through a coagulation/flocculation mechanism to increase the retention of particulate solids (fibre, fibre fragments, fines and fillers plus adsorbed chemicals) on the wire. Retention aids reduce the loss of raw materials and increase production.

Chemicals: Most commonly used are synthetic polymers as modified polyacrylamides (PAM), applied at around 0.1-0.5 kg of active ingredient per ADt, and cationic polymers as polyethyleneimines (PEI), (1-2 kg/ADt). Also used are inorganic chemicals as aluminium sulphate (alum), sodium aluminate and polyaluminium chloride. However, they have the drawback to increase the salt content in the white water.

Potential emissions and environmental effects: Overall retention of the retention aids themselves is high (97-99%) and release after treatment is assumed to be low. Typically, retention aids are toxic to water organisms due to their cationicity (stick to the gills of fish) and are not readily biodegradable. The toxicity will be remarkably reduced whenever organic carbon is present as e.g. biomass in the wastewater treatment plant. PEI has moderate biodegradability. While free PEI monomer, is toxic, it largely biodegrades or binds to the biomass in the ETP. Polyacrylamide is non-biodegradable. Free monomer acrylamide has a moderate toxicity to fish but is biodegradable.

Since the main routes for any component of the stock are either to leave with the product or pass down eventually to the effluent treatment plant, the degree of retention of materials into the paper product is important. The best achievable retention varies depending on the product type but the operator should be able to demonstrate that he is using the appropriate retention system for his particular application.

De-foamers (process aids)
Function: De-foamers are used at the wet end of the paper machine and in the preparation of coating colour to prevent foaming and to destroy produced foam respectively. Air causes problems with initial paper sheet formation and may give rise to foaming on the machine, which used to be dealt with by chemical means. De-foamers are used in the main circuit and in aerated wastewater treatment plants.

Chemicals: Substances used are organic compounds with surface-active properties. Mineral and vegetable oil products, fatty acids and derivates, phosphoric acid esters, higher alcohols and silicone oils are used.

Potential emissions, environmental effects and possibilities to control releases: The main part of the defoamers added to the wet end is probably discharged with the effluent. Defoamers used in coating preparation are mainly added to the paper, or partly evaporated in the dryer.

Depending on the type of chemicals used biodegradability of defoamers is variable. Mineral oil products have a low biodegradability and will be discharged to the water bodies. Only fully biodegradable products with known, safe products of biodegradation should be used. Released to water defoamers have generally low toxicity to fish. However, some chemicals are lipophilic and are likely to bioaccumulate. Spills can suppress bubble formation and the aeration mechanism in aerobic effluent plants. This should be guarded against by means of a suitably engineered handling system.

Dispersion agents and surfactants (process aids)
Function: The tensides, which are also called surfactants, have primarily the function of surface tension reduction. Tensides consist of one hydrophilic and one hydrophobic (lipophilic) part. The process functions of the use of tensides in paper mills are mainly the following:

- Cleaning of felts, wires and machine parts, continuously during production
- Cleaning of water circuit systems, discontinuously during production stops
- Dispersion of ink particles in de-inking of recovered fibres
- Dispersion of resins, slime (agglomerations of bacteria) and other deposits

Chemicals: Tensides and dispersion agents form a very large group of chemicals and a big number of different variations have been used. The group of tensides consists of anionic, cationic and non-ionic types referring to the chemical character of the hydrophilic part of the molecule. As anionic compounds for the hydrophilic group e.g. sulphonate, sulphate or carboxylate can be used, as non-ionic groups e.g. polyoxyethylene, sucrose or peptides), as cationic groups e.g. quaternary ammonium. Compounds of fatty acids, acid soaps or alcohols can also be used as well as paraffine hydrocarbons, olefine hydrocarbons, alkyl benzenes (e.g. nonyl phenol, nonyl phenol ethoxylates and alkyl phenol ethoxylates), naphthalene groups and polymerised propylene oxide. Nonyl phenols are suspected endocrine disruptors. Therefore, the use of nonyl phenol ethoxylates (also as emulsifiers in additives) should be avoided.

Potential emissions, environmental effects and possibilities to control releases: Applied at around 0.5 kg/ADt (of active ingredient), all of the surfactants are potentially harmful by attacking cell structures and most will be discharged to effluent treatment where their biodegradability varies. Therefore, care should be taken in their selection. Biodegradable tensides are available.
Operators should demonstrate that they are using only those of very high biodegradability and with known products of biodegradation. Nonyl phenol ethoxylates, which can be decomposed to nonyl phenol should be avoided. Nonyl phenol is a bioaccumulative and toxic compound with low biodegradability. There is also some evidence that some alkyl phenol ethoxylate degradation products show oestrogenic activity. [15]PARCOM has recommended (PARCOM Recommendation 92/8) to phase out industrial cleaning agents that contain nonyl phenol ethoxylates.

Biocides for the incoming water (process aids)
Function: Depending on the water source, treatment of the incoming water may be required. Since often surface water is used for process and cooling water, microorganisms will be entrained in the system. These microorganisms can rapidly colonise the surfaces of pipings and cooling water systems. For biofouling control different possibilities are available many of them using biocides.

Chemicals: Chlorine and sodium hypochlorite are widely used, as are bromine compounds such as hypo-bromous acid.

Emissions and effects: The use of liquid chlorine carries with it the risk of a hazardous release. All of these will result in the production of a wide range of potentially harmful halogenated organics. Clearly the more organics there are in the incoming water the greater will be the generation of these compounds. Therefore, chlorine should not be applied. However, in some cases where surface water is used as process water it might be necessary to apply substances like sodium hypochlorite. Where organics are high, the use of chlorine dioxide can be considered, as there will be less halogenated organics formed. Ozone is another option although it has no residual biocidal action and the exposure hazard due to liberation of ozone gas in closed areas needs to be controlled. The intake water can be pre-treated (e.g. sedimentation, precipitation, filtration). The amount of biocide required for successfully treatment can thus be reduced.

Biocides can have major negative effects on the wastewater treatment plant and the environment. Therefore operators should show how they minimise the use of biocides commensurate with effective biocidal action.

Biocides (slimicides) for the process water circuits (process aids)
Function: Slime is biological matter and connected chemical deposits, anywhere settled in the system. It represents a serious trouble for the good management of the paper mill. It gives staining and holes, making the produced paper more susceptible to breaks with relevant loss of production. The phenomenon is usually controlled by the dosage of biocides (slimicides) which

[15] Renner, R., European bans on surfactant trigger transatlantic debate, Env. Sci. Technol. 31 (7), 1997, p. 316-320.

deactivate bacteria, together with dispersion agents. Many mills, but not all, will also routinely wash-up the system.

Chemicals: As active components a large number of different organic chemicals are used as sulfo-organic, bromo-organic and organo-nitrogen compounds as e.g. dithiocarbamates, isothiazolinones, bromohydroxyacetophenone and many others. The biocide formulation may also include dispersants, surfactants and solvents.

Emissions and effects: Applied typically at 30 mg/l in the water circuit, most will be released to the water environment and are inherently potentially harmful, as may be their degradation products. The products that should preferably be used should be selected on the basis of minimising the environmental hazard through an understanding of the products used with regard to degradation, bioaccumulation and de-activation. Furthermore the degradation products should be known. The optimum performance of a biocide is besides others dependent upon half-life and is a compromise between time to degrade, point of application and the quantity of chemical which needs to be added. The aim is to use the minimum biocide to prevent problems between shutdown cleans, rather than to attempt to maintain a "sterile" circuit. The assessment should show that these factors, and any relating to the other substances in the formulation, have been taken into account. The operator's assessment should take into account persistent biocides, which may also end up in the sludge.

Batch cleaning of a machine on shutdown involves the re-circulation of a higher than normal concentration of biocides and system cleaners, usually at elevated temperatures, around the water system. The applicant should show how this concentrated stream is handled to avoid overloading and as a consequence disturbances of the wastewater treatment plant.

Because of some adverse effects in their handling or for environmental reasons other approaches have been proposed as suitable alternatives in anti-slime treatment, for example enzymes, oxidisers (e.g. peroxide), dispersants and biofilm inhibitors (as e.g. ligno-sulfonates). A possible strategy for reducing biocide consumption is to abate slime forming with combinations of dispersants and biocides. Depending on the installed equipment, process-lay out, and product requirements, a considerable reduction in biocide use can be achieved. Also the location of biocide dosing can have a great impact on the quantity of biocides needed. In a few cases, paper mills succeeded in production with total omission of biocides.

ANHANG II BESTEHENDE NATIONALE UND INTERNATIONALE GESETZGEBUNG UND VEREINBARUNGEN

National Emission limits for the production of pulp and paper within the European Union
Environmental limit or guideline systems for pulp and paper industry vary significantly between European countries, despite efforts to create a more uniform system.

Some European countries (e.g. AT, DE, ES, FR, IT, PT) have a permitting system where national legislation/authorities have set general (minimum) limits presenting limits that are to be met all the time. These values are the maximum emissions accepted. Permit authorities can set stricter limits based on the environmental conditions (an Environmental Impact Assessment is usually required for big installations). For each permit adjustment is made by the permitting authorities, based on the local environmental conditions and the technical characteristics of the installation. In other countries (e.g. FI, NL, NO, SE, UK) the limits are based on technically and economically feasible measures on case-by-case basis, considering the environmental conditions. However, the Nordic Countries have also issued policy guidance documents and other means to direct individual permit decisions (e.g. Recommendations of the Nordic Working Group on the pulp and paper industry, National guideline values for the key control parameters).

Permits normally have limit values for emissions and requirements for technical measures (both processes internal and external). In a few countries, permit limits include maximum loads to the environment (kg/d). Emissions can be regulated by limits in concentration (mg/l or mg/m^3), specific load (kg/t), and load to the environment (kg/h, kg/d). Generally, emissions must be controlled so that the emission limit is met, and the ambient environment quality standards are not exceeded.

Most countries have separate permitting systems for air emissions, wastewater discharges and solid wastes, but especially after the adoption of the European Union IPPC Directive, a more integrated approach is aimed at.

It is important to note that in European countries the consequences and call for action are different when limit values are not met. The interpretation of the limits can vary e.g. with regard to what kind of exceedence of limits is clear non-compliance that requires action (for instance if a permit limit value is exceeded in a period of 2 hours, a day, ten days, 30 days, a year). There is a difference between limit values that must not be exceeded all time and guideline limits, that can be temporarily exceeded and only continuous exceedance can result in penalties. In some countries only limit values that must not be exceeded all time are considered and any excedance, even if occasionally happened, is persecuted by law. Therefore, it is of crucial importance to note the framework and legal context of permit limit values, whether they are based on maximum daily values or maximum monthly (or yearly) averages and whether or not penalties in case of non-compliance are foreseen.

Some countries (AT, DE, FR) have issued on the national/federal level sector emission regulations for different types of pulp (e.g. kraft pulp, sulphite pulp, etc.) and paper mills (e.g. coated and uncoated woodfree paper, wood-containing paper, paper based mainly on recycled fibres, etc.). These regulations consider different raw materials, processes and end products. Other countries (e.g. ES, IT, PT) have set general limit values (concentration limits) for paper mills - irrespective of the specific pollution generated. In Italy the limit values are set for the industry as a whole, without focusing on each industrial sector.

As an example for this complex area an overview of discharge limits for emissions to water from some pulp and paper grades in selected countries is given in Table II.1 to Table II.3. The tables are based on the legal requirements and do not consider questions of implementation. The tables contain only values for those countries where data were available or provided. Limits

applicable to bleached kraft pulp are shown in Table II.1, limits for bleached sulphite pulp in Table II.2, and limits for different types of paper mills in Table II.3.

Country	COD	BOD_5	TSS	AOX	Remarks
Austria	existing: 30 kg/t new/modified: 20 kg/t	existing: 3 kg/t new/ modif.: 2 kg/t	exist: 5 kg/t new: 2.5 kg/t	exist: 0.5 kg/t new: 0.25 kg/t	daily monitoring value ("4 out of 5")
France[1)]	exist: 65 (32.5) kg/t new/modif.: 50 (25)kg/t	exist: 3.98 (2.6) kg/t new: 3 (2) kg/t	exist: 6.5 kg/t new: 5 kg/t	1 kg/t (yearly average)	monthly limit value = ½ maxim. daily
Germany[2)]	exist: 40 kg/t new/modif.: 25 kg/t	exist: 35 mg/l new/ modif.: 30 mg/l	no values (part of COD)	exist: 0.35 kg/t new: 0.25 kg/t	daily monitoring value ("4 out of 5")
Ireland [3)]	No limit	90% removal or 50 mg/l	No limit	0.1 mg/l	24-h composite sample
Italy [4)]	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No requirements	3-h average
The Netherlands[5)]	Not applicable	Not applicable	Not applic.	Not applicable	Not applicable
United Kingdom[6)]	No achievable guidance levels proposed	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1.5 kg/t	monthly average

Notes:
1) The first value always refers to bleached softwood pulp. The values in parenthesis refer to bleached hardwood pulp
2) Limits under discussion, draft status. No distinction between kraft and sulphite pulp
3) The limits are set out in the Irish Draft BATNEEC Guidance Note for Pulp and Paper Manufacture
4) For the main pollutants the Italian legislation fixes emission limit values for emissions to water based on concentration parameters without any distinction of the industrial sector concerned. The values shown in the table are referring to discharges to surface waters. Discharges to the public sewers have to be met other values.
5) Bleached kraft pulp is not produced in the Netherlands
6) Achievable releases – new processes. They are usually not generally considered as applicable to existing mills but have to be considered for setting appropriate limits. They are not mandatory release limits. No distinction between different methods of chemical pulping

Table II.1: Current national discharge limits for production of *bleached kraft pulp*
For countries that do not apply national minimum requirements (e.g. BE, DK, FI, NL, SE) no generally binding limit values are presented. The permit requirements in these countries are set on a case-by-case basis and are site specific. From countries that do have generally binding requirements and are nevertheless not presented in the table no information was provided

Country	COD	BOD_5	TSS	AOX	Remarks
Austria	existing: 40 kg/t magnefite: 50 kg/t new/modified: 25 kg/t magnefite: 30 kg/t	existing: 3 kg/t new/ modif.: 2 kg/t	exist: 5 kg/t new: 2.5 kg/t	exist: 0.2 kg/t new: 0.1 kg/t	daily monitoring value ("4 out of 5")
France[1)]	exist: 45.5 kg/t new/modif.: 35 kg/t	exist: 6.5 kg/t new: 5 kg/t	exist: 6.5 kg/t new: 5 kg/t	1 kg/t (yearly average)	monthly limit value = ½ max. daily
Germany[2)]	exist: 40 kg/t new/modif.: 25 kg/t	exist: 35 mg/l new/ modif.: 30 mg/l	no values (part of COD)	exist: 0 kg/t	daily monitoring value ("4 out of 5")
Ireland [3)]	No limit	90% removal or 50 mg/l	No limit	0.1 mg/l	24-h composite sample
Italy [4)]	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No requirements	3-h average
The Netherlands[5)]	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable
United Kingdom [6)]	No achievable guidance levels proposed	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1.5 kg/t	monthly average

Notes:
1) The first value always refers to bleached softwood pulp. The values in parenthesis refer to bleached hardwood pulp
2) Limits under discussion; draft status. No distinction between kraft and sulphite pulp
3) The limits are set out in the Irish Draft BATNEEC Guidance Note for Pulp and Paper Manufacture
4) For the main pollutants the Italian legislation fixes emission limit values for emissions to water based on concentration parameters without any distinction of the industrial sector concerned. The values shown in the table are referring to discharges to surface waters. Discharges to the public sewers have to be met other values.
5) Bleached sulphite pulp is not produced in the Netherlands
6) Achievable releases – new processes. They are usually not generally considered as applicable to existing mills but have to be considered for setting appropriate limits. They are not mandatory release limits. No distinction between different methods of chemical pulping

Table II.2: Current national discharge limits for production of *bleached sulphite pulp*
For countries that do not apply national minimum requirements (e.g. BE, DK, FI, NL, SE) no generally binding limit values are presented. The permit requirements in these countries are set on a case-by-case basis and are site specific. From countries that do have generally binding requirements and are nevertheless not presented in the table no information was provided

Country	COD	BOD_5	TSS	AOX	Remarks
Austria [1)]	existing: 2-5 kg/t (incl. mechan./RCF pulping)	existing: 20-25 mg/l	exist: 50 mg/l	exist: 10-30 g/t	daily monitoring value ("4 out of 5")
France	exist: 4-8 kg/t new/modif.: 2.5 - 4 kg/t	exist: 1 - 2 kg/t new: 0.7 kg/t	exist: 1.5 kg/t new: 0.7 kg/t	---	monthly limit value = ½ maxim. daily
Germany [1)]	exist: 2-6 kg/t (incl. mechan./RCF pulping)	exist: 25 mg/l	no values (part of COD)	exist: 10-40 g/t	2-h composite sampling ("4 out of 5")
Ireland [2)]	No limit	90% removal or 50 mg/l	No limit	0.1 mg/l	24-h composite sample
Italy [3)]	160 mg/l	40 mg/l	80 mg/l	No requirements	3-h average
The Netherlands [4)]	200 mg/l	20 mg/l	30 mg/l	No emission standards	24-h composite sample
United Kingdom[5)]	No achievable guidance levels proposed	10 – 50 mg/l	10 – 50 mg/l	< 1.5 kg/t	monthly average

Note:
1) Special paper with more than one change of type per working day, highly comminuted paper or vegetable parchment have higher limits. Where ranges are presented they depend on the paper grade produced
2) The limits are set out in the Irish Draft BATNEEC Guidance Note for Pulp and Paper Manufacture
3) For the main pollutants the Italian legislation fixes emission limit values for emissions to water based on concentration parameters without any distinction of the industrial sector concerned. The values shown in the table are referring to discharges to surface waters. Discharges to the public sewers have to be met other values.
4) In the Netherlands permit requirements are site specific. Therefore, typical emission standards are given for mills with a biological treatment plant on site. The data shown in the table refer to the average values of the rolling average of 10 samples. Typical maximum values after biological treatment are: 300 m/l COD; 30 mg/l BOD: 60 mg/l TSS.
5) Achievable releases – new processes. They are usually not generally considered as applicable to existing mills but have to be considered for setting appropriate limits. They are not mandatory release limits. No distinction between different types of fibres or paper grades that are manufactured in a paper mill

Table II.3: Current national discharge limits for production of *paper*
For countries that do not apply national minimum requirements (e.g. BE, DK, FI, SE) no generally binding limit values are presented. The permit requirements in these countries are set on a case-by-case basis and are site specific. From countries that do have generally binding require-ments and are nevertheless not presented in the table no information was provided

When comparing the limit values, it should be noted that the averaging time for the limits might be different from one country to another, e.g. daily, monthly, yearly averages, as are to a certain extent the analysis methods and reference conditions. Compliance criteria might also vary. Some countries have set different limit values for new and existing mills (e.g. AT, FR, DE). More stringent limits may apply in specific cases according to decisions of the permitting authority and needed to meet water quality standards.

For further information on limit values to other media (e.g. air, waste) and on environmental matters that are regulated in pulp and paper industry in European countries it is referred to a comprehensive study of the OECD that has been published at the end of 1999. [16] This study is based on a series of Country Profiles, which describe the permitting procedures of the ten individual countries. The countries examined are Austria, Belgium (Wallonia), Canada, Finland, Germany, New Zealand, Norway, Sweden, Switzerland, and the United States of America. The final report provides an analysis of the environmental permitting of bleached chemical pulp and paper mills in the ten countries studied. The report describes the regulatory responsibility and procedures applied in permitting; the use of emission standards and limit values; the consideration given to best available technology (BAT) and environmental quality objectives (EQOs) when setting permit conditions; the technological response of mills to the permit conditions; and the views of the mills on the permitting process applied in their country.

[16] OECD. Environment Directorate, Environmental Requirements for Industrial Permitting, Case Study on the Use of Best Available Technology (BAT) and Environmental Quality Objectives (EQOs) in the Environmental Permitting of Bleached Chemical Pulp and Paper Mills, Paris, France.

Readers are also referred to three other volumes dealing with "Environmental Requirements for Industrial Permitting" that have been published by the OECD in 1999.[17]

International Co-operation for the Protection of the Marine Environment
PARCOM (North Sea and North East Atlantic)

The PARIS Commission (PARCOM) was established by the Convention for the Prevention of Marine Pollution from land-based sources ("The Paris Convention"). On 25 March 1998 the OSPAR Convention entered into force. It supersedes both the Oslo Convention and Paris Convention. However, Decisions, Recommendations and all other agreements adopted under those Conventions will continue to be applicable, unaltered in their legal nature, unless they are terminated by new measures adopted under the OSPAR Convention. Consequently, the PARCOM Decisions and Recommendations for the the Pulp and Paper Industry mentioned further below are still in force under the new Convention.

The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") has been signed and ratified by all of the Contracting Parties to the Oslo or Paris Conventions (Belgium, Denmark, the Commission of the European Communities, Finland, France, Germany, Iceland, Ireland, the Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden and the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland) and by Luxembourg and Switzerland.

According to the OSPAR Convention, Contracting Parties shall "take all possible steps to prevent and eliminate pollution", including "the necessary measures to protect the maritime area against the adverse effects of human activities". Towards this end, Parties adopt programmes and measures and harmonise their policies and strategies. The OSPAR Commission has adopted a number of decisions and recommendations. An OSPAR decision is binding after a period of 200 days after its adoption has expired for those parties that voted for it. OSPAR recommendations have no binding force. So far, the work programme focused on the development of recommendations and decisions to better define the concept of BAT for specific sectors.

The following binding PARCOM Decisions with regard to the pulp and paper industry have been made:

- PARCOM Decision 96/2 on the Phasing-Out of Processes Using Molecular Chlorine (Cl_2) in the Bleaching of Kraft and Sulphite Pulp, adopted June 1996
- PARCOM Decision 95/2 on Discharge and Emission Limit Values for the Integrated and Non-integrated Sulphite Paper Pulp Industry, adopted June 1995
- PARCOM Decision 95/3 on Discharge and Emission Limit Values for the Integrated and Non-integrated Kraft Pulp Industry, adopted June 1995

The following PARCOM Recommendations with regard to the pulp and paper industry have been made:

- PARCOM Recommendation 94/2 on Best Available techniques and Best Environmental Practice for the Integrated and Non-integrated Sulphite Paper Pulp Industry, adopted June 1994
- PARCOM Recommendation 94/3 on Best Available techniques and Best Environmental Practice for the Integrated and Non-integrated Kraft Pulp Industry, adopted June 1994

A description of BAT and BEP with additional background information for the sulphite and kraft pulp industry can be found in OSPAR 1994, Industrial Sectors: Best Available Techniques (BAT) and Best Environmental Practice (BEP) Series. Progress reports on implementation are published in regular terms.

[17] OECD. 1999. Environmental Requirements for Industrial Permitting: Vol.1 - Approaches and Instruments; Vol.2 - OECD Workshop on the Use of Best Available Technologies and Environmental Quality Objectives, Paris, 9-11 May 1996, Vol.3 - Regulatory Approaches in OECD Countries, ISBN 92-64-16193-7, see also www.oecd.org.

There are no PARCOM recommendations or decisions on BAT for paper mills but only on chemical pulp mills. The decisions, recommendations as well as additional information is available on the Internet at: www. ospar.org.

HELCOM (Baltic Sea)

The first Convention on the Protection of the Marine Environment of the Baltic Sea Area was signed in 1974 by the coastal states of the Baltic Sea at that time. In 1992, a new Convention was signed by all the countries bordering on the Baltic Sea and by the European Economic Community. The governing body of the Convention is the Helsinki Commission - Baltic Marine Environment Protection Commission - also known as HELCOM. The present contracting parties to HELCOM are Denmark, Estonia, European Community, Finland, Germany, Latvia, Lithuania, Poland, Russia and Sweden. The Helsinki Convention of 1974, issued to protect the marine environment of the Baltic Sea, was the first international agreement to cover all sources of pollution reaching the Convention Area, both from land and from ships as well as airborne. To accomplish its aim, the Convention calls for action to curb various sources of pollution of the Baltic Sea. The Helsinke Convention contains provisions defining Best Available Techniques which are very similar to those of the OSPAR Convention. Decisions taken by the Helsinki Commission - which are reached unanimously - are regarded as recommendations to the governments concerned. They carry considerable moral and political weight.

The Helsinki Commission has forwarded a number of recommendations concerning the emissions from pulp and paper industry:

- HELCOM Recommendation 16/4 Reduction of Emissions into the Atmosphere from the Pulp and Paper Industry, adopted March 1995
- HELCOM Recommendation 17/8 Reduction of Discharges from the Kraft Pulp Industry, adopted March 1996
- HELCOM Recommendation 17/9 Reduction of Discharges from the Sulphite Pulp Industry, adopted March 1996
- A HELCOM Recommendation on the Reduction of Discharges from the Production of Mechanical Pulp, Thermo-Mechanical Pulp, Chemi-Thermo-Mechanical Pulp, Recycled Pulp and Paper and Board Manufacturing is in a draft status.

An overview of limit values recommended by the different decisions and recommendations is shown in Table II.4 for sulphite pulp mills and Table II.5 for kraft pulp mills.

	Limit values as yearly average, kg/tonne of air dry pulp (90% dry solids)			
	Existing mills, within 31-12-99 (OSPAR), within 01-01-2000 (HELCOM)		**New mills, or capacity increased by more than 50% after 31-12-1996 (OSPAR) or 1-01-1997 (HELCOM)**	
	OSPAR	**HELCOM** [3]	**OSPAR**	**HELCOM** [3]
COD	80	70	35	35
TSS	8.0	---	4.5	---
AOX	---	0.5	---	0.1
Tot-P	---	0.08	---	0.04
Tot-N	---	0.06	---	0.4
SO_2	5.0 [1]	3.0 [2]	3.0 [1]	--- [2]
NO_x	2.5 [1]	---	1.5 [1]	---

Note:
1) In OSPAR the air limits for sulphite pulp and paper mills cover only SO_2, and NO_x from recovery boilers but exclude emissions from auxiliary boilers.
2) The recommended limit value originally is 1.5 kg S/Adt; it has been converted to kg SO_2/Adt to render the values easier to compare. No separate value for new mills is recommended

Table II.4: Paris and Helsinki Commission limit values (yearly average) for integrated and non-integrated bleached sulphite pulp and paper industry

	Limit values as yearly average, kg/tonne of air dry pulp			
	Existing mills, within 31-12-99 (OSPAR), within 01-01-2000 (HELCOM)		New mills, or capacity increased by more than 50% after 31-12-1996 (OSPAR) or 1-01-1997 (HELCOM)	
	OSPAR	HELCOM [3]	OSPAR	HELCOM [3]
COD	50	30	30	15
TSS	8.0	---	4.0	---
AOX	---	0.4	---	0.2
Tot-P	---	0.04	---	0.02
Tot-N	---	0.4	---	0.35
SO_2-S	2.0 [1]	1.0 [2]	1.0 [1]	--- [2]
NO_x	2.0 [1]	---	1.5 [1]	---

Notes:
1) In OSPAR the air limits for SO_2, and NO_x for kraft pulp mills apply to the sum of such emissions from recovery boilers, lime kilns and installations, if any, for separate combustion of strong odorous gases. Gaseous Sulphur (S) means sulphuric compounds calculated as S.
2) In HELCOM atmospheric emissions include all relevant sources except those from auxiliary boilers. No separate value for new mills is recommended
3) All analysis of effluents should be made on unsettled, unfiltered samples.

Table II.5: Paris and Helsinki Commission limit values (yearly average) for integrated and non-integrated bleached kraft (sulphate) pulp and paper industry

United States: The Pulp and Paper Industry "Cluster Rules"

In November 1997 the US EPA has finalised a new set of federal guidelines, the so-called cluster rules. The guideline is very complicated and contains limits for 12 different types of mills each of them distinguished by four different technical levels:

- Effluent limitations representing the degree of effluent reduction attainable by the application of the Best Practicable Control Technology Currently Available (BPT). The limit values must by achieved by any existing point source and comprise basic parameters like BOD_5, TSS and pH
- Effluent limitations representing the degree of effluent reduction attainable by the application of the Best Conventional Pollutant Control Technology (BCT). They can be required for conventional pollutants like BOD_5 and TSS (if justified) and are in practice usually the same as BPT.
- Effluent limitations representing the degree of effluent reduction attainable by the application of the Best Available Technology Economically Achievable (BAT) used for controlling of toxic and non-conventional pollutants as e.g. chlorophenolic-containing biocides.
- New Source Performance Standards (NSPS) are used for new plants combining BAT for non-conventional and conventional pollutants.

Limit values are given as pollutant load expressed as kg pollutant per tonne of product distinguishing maximum values for any 1 day and average values of daily values for 30 consecutive days.

For discharges of toxic pollutants as e.g. chlorophenolic-containing biocides into a publicity owned treatment works (POTW) the mill must achieve Pre-treatment Standards for Existing Sources (PSES) and Pre-treatment Standards for New Sources (PSNS).

The regulations apply to any pulp, paper, or paperboard mill that discharge process water pollutants to waters or into a publicity owned treatment works. The following table presents the codified subcategorization scheme. For each mill category effluent limitations to discharges are given:

Subcategory	Types of products covered in the subpart. Within each subcategory different limit values are given
Dissolving Kraft Pulp	Dissolving pulp at kraft mills
Bleached Papergrade Kraft and Soda	Production of market pulp at bleached kraft mills; integrated production of paperboard, coarse paper and tissue paper at bleached kraft mills; integrated production of pulp and fine papers at bleached kraft mills and the integrated production of pulp and paper at soda mills
Unbleached Kraft Pulp	Pulp and paper at unbleached kraft mills including linerboard or bag paper and other mixed products; pulp and paper using the unbleached kraft neutral sulphite semi-chemical (cross recovery) process
Dissolving Sulphite Pulp	Pulp at dissolving sulphite mills for the following grades: nitration, viscose, cellophane and acetate
Papergrade Sulphite Pulp (Ca^2, Mg^{2+}- or Na^+-based pulps, NH_4^+-based pulps, speciality grade pulps)	Pulp and paper at papergrade sulphite mills where blow pit pulp washing techniques are used and pulp and paper at papergrade sulphite mills where vacuum or pressure drums are used to wash pulp
Semi-Chemical Pulp	Pulp and paper at semi-chemical mills using an ammonia base or a sodium base
Mechanical Pulp	Pulp and paper at groundwood chemi-mechanical mills; pulp and paper at groundwood mills through the application of the thermo-mechanical process; pulp and coarse paper, molded pulp products and newsprint at groundwood mills; pulp and fine paper at groundwood mills
Non-Wood Chemical Pulp	Pulp and paper at non-wood chemical pulps
Secondary Fibre, Deink	Pulp and paper at deink mills including fine papers, tissue papers or newsprint
Secondary Fibre, Non-Deink	Paperboard from wastepaper from non corrugating medium furnish or from corrugating medium furnish; tissue paper from wastepaper without deinking at secondary fibre mills; molded products from wastepaper without deinking; builders' paper and roofing felt from wastepaper
Fine and Lightweight Paper from Purchased Pulp	Fine papers at non integrated mills using wood fibre furnish or cotton fibre furnish; lightweight papers at non integrated mills or lightweight electrical papers at non integrated mills
Tissue, Filter, Non-Woven and Paper-Board from Purchased Pulp	Tissue papers at non integrated mills; filter and non-woven papers at non integrated mills; paperboard at non integrated mills

Table II.6: Subcategorization Scheme of the US Pulp and paper Industry "Cluster Rules"

Compared to recent permit requirements in Europe, the limitations for existing mills set in the US cluster rules are lenient. But, to encourage individual mills to achieve greater reductions beyond the requirements of the rules, EPA is setting up a voluntary incentives program. Mills volunteering for the program will be subject to more stringent reductions and, in return, receive rewards for their participation, such as additional compliance time. The so-called "Ultimative Voluntary Advanced Incentives Program BAT Limitations" which must be achieved six (Tier I), eleven (Tier II) and sixteen years (Tier III) from the date of publication of the cluster rules are comparable most easily with the BAT Reference Values compiled in the BREF. For some subcategories the New Source Performance Standards (e.g. for BOD_5 and AOX) are also comparable to emission levels observed at existing mills in Europe.

The rules and additional information are available on the Internet at:
www.epa.gov/ostwater/pulppaper/reg.html.

Canada
Canada has two levels of legislation and authorities: the state and the provinces. The national legislation/authorities set general guidelines, but the actual limits and guidelines can be different in each province. Most provinces require that an Environmental Impact Assessment (EIA) needs to be conducted when building or expanding pulp and paper mills, and this EIA has an influence on the actual limits.

The wastewater limit systems in Canada are mostly based on load kg per tonne production. Different limits are applied for different types of mills. Some parameters can be measured as concentrations. Toxicity limits are also used. During the past few years the Canadian limits for pulp and paper mills have been developed, e.g. to include toxic substances, such as dioxins and furans.

Air pollution control in the Canadian mills is based on achieving ambient air quality standards. Emission limits are typically given to main parameters and main emission sources (e.g. SO_2 from recovery boiler).

Asia
Indonesia is one of the most important pulp and paper producing countries in Asia. It has a fairly developed environmental permit system with environmental impact assessments for major industrial plants. Two sets of national wastewater standards have been issued one to be applied by the year 1995 and the other by the year 2000. The limits are expressed both as concentration limits and as specific load (kg/t), also use of water is limited (m^3/t). The new limits have been given for seven types of pulp mills and four types of paper mills.

There are national standards for atmospheric emissions from various sources in a pulp mill, expressed as mg/m^3. The permit authority can issue stricter limits in certain areas. The world class pulp and paper mills in Indonesia tend to follow international guidelines for their environmental control systems.

South America
Brazil is the most important producer of pulp and paper in South America, and serves often as a model for other countries in the region. The Brazilian authorities tend to follow the US EPA guidelines when setting the environmental limits to the mills.

Effluent limits cover conventional parameters and are usually expressed as maximum specific loads (kg/t). Limits for modern mills are relatively strict.

Also the limits for gaseous emissions are relatively strict for new mills. Concentration limits are issued for main sources, and technological requirements (e.g. collection of malodorous gases) are often presented in the permits.

ANHANG III ÜBERWACHUNG VON ABWASSEREIN-LEITUNGEN UND ABGASEMISSIONEN IN EUROPÄISCHEN ZELLSTOFF- UND PAPIERFABRIKEN

For more detailed information than presented below it is referred to the parallel ongoing work on a BREF "monitoring of emissions".

Analytical methods within the European Union

Current legislation in Europe requires that pulp and paper mills monitor emissions to water and air. Analysis of solid waste fractions and noise levels are usually also monitored and controlled. Monitoring practices vary between European countries to a certain extent because applied analytical methods including sampling and calculation of results are normally not fully harmonised. Therefore, the comparability of the results of measurements can not be guaranteed. On the other hand, in most European countries there are national standards available for parameters most relevant to emissions to water and atmosphere. This means that these methods are validated for the specific purpose and minimum requirements with regard to accuracy are met independent on the technical details of the analytical procedures, which are used. However, in case of group parameters such as TSS, COD, BOD, AOX, which can be considered operationally defined by the analytical procedure applied, a strong need for harmonisation on the European level is obvious. This is reflected by the activities of the technical Committee 147 Water quality of the International Standardisation Organisation ISO and the technical Committee 230 of the European Standardisation Organisation CEN which have already published appropriate standards or are working at it, respectively. To get a clearer picture about the comparability and accuracy of data presented in this document a brief overview of the methods in use within the European Union is given below. Nevertheless, it has to be stressed that the whole analytical methodology chain starting from sampling, analysing and calibration to reporting results has to be assessed to get a reliable information on main sources of errors and the comparability of data.

1. Comparison of wastewater discharge measurements

Typical wastewater monitoring parameters to be analysed for pulp and paper mills are as follows:

Wastewater flow, total suspended solids (TSS), temperature, chemical oxygen demand (CODCr), biochemical oxygen demand (BOD5 or 7), total phosphorus (P), total nitrogen (N), pH, conductivity, adsorbable organically bound halogens (AOX) and toxicity. Also other parameters such TOC, chlorate, EDTA/DTPA, and metals are monitored in some cases. Some of these measurements are highlighted in the following.

Chemical oxygen demand (COD)

Chemical oxygen demand in wastewater is measured as the corresponding oxygen consumption during oxidation with dichromate (COD_{Cr}). COD is determined in unsettled and unfiltered samples. The principle of COD_{Cr} is to add a known amount of dichromate to a certain volume of the water sample and heat the mixture for 2 h. Part of the dichromate will react with oxidisable compounds in the sample, and finally the remaining dichromate is determined, titrimetrically (Standard Method) or photometrically. The COD_{Cr} value is calculated based on the amount of dichromate reduced, and the result is expressed in mg O_2/l. The photometric methods (e.g. Dr. Lange, HACH, WTW) have simplified the COD_{Cr} analysis and have been approved by authorities in most countries as an equivalent alternative to the more complicated standard method.

The methods in use in European countries seems to be very similar but are referred to with different terms (e.g.: DIN 38 409-H41, BS 6068: Section 2.34, SFS 3020, SS 02 81 42). They are all based on the principles described in ISO-Standard 6060: 1989 Water quality - Determination of the chemical oxygen demand. The minor differences between the methods are not expected to give any significant differences between analytical results. In some cases COD

is analysed on filtered samples. This has to be considered in the assessment of the results because it can influence them significantly if a considerable amount is retarded on the filter.

Biochemical oxygen demand (BOD)
BOD is related to the content of substances that can be biochemically oxidised. The object is to measure the oxygen consumption, when substances in the sample are degraded by bacteria. BOD can be seen as the easily degradable part of COD. BOD is determined in unsettled and unfiltered samples.
The water sample is diluted with dilution water containing a seed of aerobic microorganisms. The dissolved oxygen concentration is determined before and after incubation during 5 days (in a few countries 7 days). Incubation takes place at a controlled temperature (20°C) in the dark, and in a completely filled and closed bottle. Generally, BOD is sensible to errors (dilution factor, time of storage, temperature, etc.). The oxygen content can be measured by either titrimetric or electrometric methods. BOD is the reduction in oxygen content and expressed as mg O_2/l

There are minor differences between the European countries although they are referred to with different terms or references (DIN 38 409-H51, BS 60 68: Section 2.14, SFS 5508, SS 02 81 43). All methods seem to be close to the ISO method and are based on the principles described in ISO-Standard 5815: 1989 Water quality - Determination of the biochemical oxygen demand after 5 days, dilution and seeding method. There are slight differences in practice as e.g. concerning seeding water used or the incubation flask volumes. There is no reasonable suspicion that those differences will have a significant influence on the analytical results.

Most countries apply the 5-day BOD, BOD_5, but Nordic countries use 7 days incubation time. According to investigations of the Finnish Environment Institute for pulp and paper mill effluents BOD_7 corresponds to 1.16 times BOD_5 (i.e. BOD_5 of 25 mg/l corresponds to a BOD_7 value of 29 mg/l).

Since 1998 a European standard method for determination of BOD exists: EN 1899-1 “Dilution and seeding method with allylthiourea addition”.

Total suspended solids (TSS)
Suspended solids are particles that are suspended, i.e. they are able to settle in stagnant water. They consist of small fibre fragments, fillers, fines, non-settled biological sludge (agglomeration of microorganisms), and other small particles down to about 1 m in size. The smallest of these particles settle very slowly under normal conditions and approach the area of colloid particles (< 0.4 µm).
Analysis of suspended solids is made by filtering a known volume of water through a filter with approximately defined pore size using vacuum suction, and then weighing the dry solids retarded on the filter. The type of filter used depends on the aim of the analysis. Depending on whether the objective is to find out the quantity of fibres and coarse particles (EN 871, determination of coarse particles and fibre with wire cloth with mesh width between 60-70 µm) or the quantity of all particles (EN 872, total suspended solids) different filters are required. Most countries use glass fibre filters, which approximately give the TSS value.

Today there is an international standard method for determination of suspended solids by filtration through glass-fibre filters (ISO 11923: 1997). There is also a European Norm EN 872 on determination of suspended solids. However, this norm does not specify a definite pore size for the glass fibre filters. In Germany for instance, filters with pore size between 0.3-1 µm are used according to DIN-EN 872. Glass fibre filter type Whatman GF/A (1.6 µm) or GF/C (1.2 µm) are suitable filters to determine the amount of total suspended solids (TSS) from pulp and paper mills.

Members of the TWG expressed uncertainty whether or not there are relevant differences in the analyses of suspended solids in different countries and whether TSS emissions in Europe are comparable. Therefore Table III.1 shows some information regarding the standard methods used for the analyses of suspended solids within the European Union. A specification what filters are used is also included [information provided by TWG Members].

Country	Analytical method	Parameter	Filter type	Comments
Austria	ÖNORM EN 872	Total suspended solids	Glass fibre filter	according to EN 872
Belgium	No information provided			
Denmark	DS 207	Total suspended solids	No information provided	
Finland	SFS-EN 872	Total suspended solids	Glass fibre filter	replaces SFS 3037
France	NF T 90 105	Total suspended solids	No information provided	
Germany	DIN EN 872	Total suspended solids	Glass fibre filter (0.3-1 µm)	according to EN 872
Greece	No information provided			
Ireland	B7 (unpublished in-house method based on the standard method)	Total suspended solids	Glass fibre filter	Based on APHA/ AWWA Section 2540 D 19th ed.
Italy	IRSA CNR N.2 2050	Total suspended solids	0.45 µm filter	
Netherlands	NEN 6484	Total suspended solids	0.45 µm filter	
Norway	NS 4733	Total suspended solids	Glass fibre filter GF/A	
Portugal	No information provided			
Spain	NFT 90-105	Total suspended solids	No information provided	
Sweden	SS 02 81 12 SS 02 81 38	Total suspended solids Coarse particles incl. fibre	Glass fibre filter (GF/A) 70 µm wire cloth	equals to DS 207 and SFS 3037
United Kingdom	No information provided			
Note: After publication of a European Standard (EN) the Member States are liable to publish it as national standard identical in content and presentation or to issue a national endorsement notice. National standards, which are contrary to the EN, have to be withdrawn.				

Table III.1: Standard methods for the analysis of Total Suspended Solids (TSS) within the European Union

Adsorbable Organically Bound Halogens (AOX)

In many countries AOX has been approved as a standard method to determine the total organically bound chlorine in pulp and paper mill effluents (the presence of other halogens than chlorine is insignificant in those wastewaters). In Scandinavia AOX is analysed according to the Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee standard method, SCAN-W 9:89, and often referred to as the "shaking method". The principle is to adsorb the organic constituents of the sample on activated carbon, separate the carbon from the sample by filtration, and burn the carbon with oxygen in a special AOX apparatus. HX are formed from the originally organically bound halogen and absorbed in an electrolyte in which they are determined by microcoulometric titration. The result is expressed as chloride in mg Cl/l.

The corresponding German AOX method, DIN 38409, H14, is basically very similar to the Scandinavian method. Since 1998, there is an ISO standard (ISO 9562:1998) and also the European Norm, EN 1485 - Determination of adsorbable organically bound halogens, available. Supposed that there is sufficiently qualified staff in the laboratory the minor differences between methods applied are not expected to give significant differences between analytical values.

Conclusions

There are minor differences between measurement methods for wastewater discharges from pulp and paper mills in European countries although the methods are referred to with different terms or references. All methods seem to be close to ISO methods and are based on the similar (or same) principles. It is therefore not expected that these minor differences will give significant variations of analytical values. Other matters as sampling methods, handling and storage of samples, sufficient qualification of staff, and measures of internal and external quality assurance in the analytical laboratories seem to have a much higher influence on the results than the differences in measurement methods used. But these factors might not only lead to

significant differences of the results of measurements of paper mill effluents between countries but also within a country.

Finally the frequency of samplings taken to determine environmental performances of mills as well as the reference periods (time intervals) from which the actual emission is computed (daily, monthly, yearly average) are expected to have a significant influence on the results (see ANNEX IV: Examples for variations of emissions).

2. Comparison of measurements of atmospheric emissions

In pulp and paper industry, emissions into the air originate from both the process and energy production. Process emission sources of kraft pulp mills are mainly the recovery boiler, the lime kiln and the cooking department. Other emission sources are e.g. bleaching, washing filters, the evaporation plant, the dissolving tank, the chip bin, and manufacturing of pine oil. Emissions in paper mills are mainly due to the flue gases from energy production. Energy production emission sources at a pulp and paper plant are the multi-fuel furnace or the bark boiler. At RCF paper mills, which are operating de-inking plants for recovered paper processing various sludge may be incinerated in a solid fuel boiler.

Typical waste gas monitoring parameters to be analysed at pulp and paper mills are as follows:

Gas flow, sulphur oxides (sulphur oxides expressed as SO_2), nitrogen oxides (expressed as NO_2), particulates/dust, total reduced sulphur (TRS), and H_2S. In some cases or at certain intervals also carbon monoxide, chlorine, and polychlorinated dibenzodioxins, dibenzofuranes (PCDD/PCDF) are analysed as are HCl for sludge burning boilers. Some general aspects to consider and commonly used measurements are highlighted in the following.

Frequency of measurement, sampling, flue gas flow rate and emission calculation

Continuous measurements

Continuous measurements are carried out by the operators of the plant itself. The availability of monitoring time is regarded sufficient when the continuous emission monitoring is operative at least 90 % of the annual operating time. The results show total annual emissions as well as temporal variations of the emission during the operation.

In pulp mills sulphur dioxide, TRS, particles and carbon oxides are normally measured continuously. Continuous measurements are carried out when the flue gas flow is significant as it is for emissions from the recovery boiler, the lime kiln, the handling system for non condensable gases and energy production boilers. Continuous NO_x emission measurements are only applied in some countries (e.g. Sweden, Finland) as e.g. for recovery boilers or big steam boilers. As there is no reliable continuous measurement system for flue gas volume flow at present, there are certain difficulties in making the periodical values to describe the varying process situations. However, the flow can in many cases, e.g. recovery boilers and lime kilns, be calculated from fuel data.

Sampling and sample treatment are usually the weakest points of the measurements. Problems can occur in taking a representative gas sample. Instructions for choosing of the measurement point and instructions for sampling are presented in various standards. The measurements themselves are usually carried out according to currently valid standards (based on the related international or foreign standards) or type proved measurement equipment. ISO and CEN have published several standards and standard proposals for calibration.

Periodical/discontinuous measurements

Periodical measurements are used for small and separate emission sources. They are carried out as manual single measurements or as short period. Periodical emission measurements can be carried out once a week or once a month (and in special cases also once a year as e.g.. for dioxin, furan) for the following emission components: SO_2, TRS, CO, CO_2, NO_x, Cl and particles, in some cases also for dioxin, furans and HCl emissions from sludge burning boilers according to the standard methods used in the given country. Chlorine compounds (Cl_2, ClO_2)

that can be determined in the bleaching chemical preparation area and in the removal vapours of the bleaching procedures are also measured periodically. Periodical measurements give the state of emissions over the chosen sampling time.

Parameters needed in every emission calculation, such as volume flow, temperature, oxygen content and humidity of the fume, are also determined at periodical measurements.
If the intention with discontinuous monitoring is to give a reliable picture of the total emissions over a certain period, e.g. a day, a month or a year it is crucial to have a statistically well founded number of samples. If the total emissions are counted on the basis of a few samples representing only a minor part of the total production time, they are likely to represent poorly the real situation. This is due to the fact that processes are not steady and prevailing process conditions, disturbances in processes etc. may affect significantly the results.

Flue gas flow rate
If the total or product specific emissions (e.g. kg SO_2/Adt) are to be determined the quality of measuring or calculating the flue gas flow is of crucial importance. If this is not done properly, also good quality of the analysis of the emission parameter can not give a realistic picture of the situation. If the aim is to determine the concentration of the component in the flue gas, only the flow of the sample gas has to be known, besides the mass of the substance to be determined.

Emission calculation
Material balance calculations may be used to supplement emission measurements in order to check the results of measurements as well as to create a general view of the total emission level of each component. Sometimes, the amount of diffuse emissions that is not recorded by emission measurements can be substantial (e.g. TRS emission of kraft pulp mills) and can be approximated by material balances of sulphur. A material balance calculation gives an impression of the expected magnitude of the emission of a specific substance but cannot show (or even replace) accurate measurements. Therefore, the usefulness of theoretical emission calculation for determination of environmental performance levels is questionable. Material balance calculations are often based on evaluated process flows and measured concentrations. However, if only little basic information is determined by measurements, possible errors may accumulate in the final results. Calculating of a reliable average emission levels for a plant means long term monitoring of the processes and statistical examination.

Sulphur oxides (SO_2), Nitrogen oxides (as NO_2) and particulates/dust
The atmospheric emissions from pulp and paper mills cover mainly classical pollutants as also released from power boilers: sulphur oxides, nitrogen oxides and particulates. In kraft pulp mills, additionally there are above all TRS emissions to consider that are released from a few main emission sources and a couple of others sources in lower concentrations (diffuse emissions).

International norms for determination of major air pollutants are worked out by the International Standard Organisation' s Technical Committee and the European Standardisation Organisation CEN. ISO standards for stationary source emissions and European Standards which have been published so far are shown in Table III.2. These standards normally include sampling and measurement. To a large extent, these standards have been adopted as national norms.

Number	Year of publication	Measured parameter	Remarks
ISO 7934	1989	Determination of the mass concentration of sulphur dioxide - Hydrogen peroxide/barium perchlorate/Thorin method	discontinuous measurement, note also amendment 1
ISO 11632	1998	Determination of mass concentration of sulphur dioxide - Ion chromatographic method	
ISO 7935	1992	Determination of the mass concentration of sulphur dioxide - Performance characteristics of automated measuring methods	
ISO/DIS 11564	1996	Determination of mass concentration of nitrogen oxides - Naphthylethylenediamine photometric method	
ISO 10849	1996	Determination of the mass concentration of nitrogen oxides - Performance characteristics of automated measuring systems	
ISO 10396	1993	Sampling for the automated determination of gas concentrations	
ISO 10780	1994	Measurement of velocity and volume flow rate of gas streams in ducts	discontinuous measurement
ISO/DIS 14164	1997	Determination of volume flow rate of gas streams in ducts - Automated method	
ISO 9096	1992	Determination of concentration and mass flow rate of particulate material in gas-carrying ducts - Manual gravimetric method	discontinuous measurement
ISO 10155	1995	Automated monitoring of mass concentrations of particles - Performance characteristics, test methods and specifications	
EN 1911	1998	Manual method of determination of HCl	
EN 1948	1996	Determination of the mass concentration of PCDDs/PCDFs	
Abbreviations: DIS = Draft International Standard; ISO = International Standard; prEN = draft European Standard; EN = European Standards			

Table III.2: Standards for determination of air pollutants from stationary source emissions published by International Standard Organisation (ISO)

It can be expected that achievable emissions quoted in the document are determined by ISO/CEN standards or, in cases where international standards are not yet available, by application of suitable national standards. For the determination of SO_2, today continuous methods are commonly used (e.g. absorption with IR- or UV-light, or florescence). However, for power boilers using gas or wood-based solid fuels (bark), the emission of SO_2 are so low that it is of minor interest to measure this parameter continuously.

For determination of SO_2 and NO_x it can be expected that the differences between the methods used within the Union will give no significant variations of analytical values. The frequency of samplings taken to determine environmental performances of mills as well as the reference periods (time intervals) from which the actual emission is computed (daily, monthly, yearly average) are expected to have a more significant influence on the results (see ANNEX IV).

For the determination of particles the different practices within the European Union might have a higher relevance because particles are not a well-defined parameter (such as SO_2 and NO_x) but defined by the procedure of measurement. It is essential and common practice that the sampling is carried out isokinetically i.e. the velocity of the gas in the sampling device has to correspond to that in the duct. The method used for sampling is dependent on the moisture content and the composition of the gas. The flue gas from power boilers using oil, coal, gas or solid fuel (wood) is normally dry enough to use dry filter method. The gas sample is collected with a pump connected to a gasometer to measure the gas flow of the sampled gas. The particulates collected on a suitable filter are determined gravimetrically.

To highlight possible differences in measurements of particles/dust in Table III.3 some information is collected regarding the standard methods used within the European Union. A

specification what measurement method are used is also included [information provided by TWG Members]

Country	Standard method applied	Year of publication	Principle for measurement	Remarks
Finland	SFS 3866	1990	Manual method	
Germany	VDI 2066	1993	in-stack filter, discontinuous	method for calibration
Ireland	BS 6069/ISO 9096	1992	Gravimetric	
Italy	UNI-UNICIM 10 623			
Netherlands	ISO/NEN 9096		Iso-kinetic suction followed by gravitmetric determination	
Norway	NS 4863	1985	Optical Gravimetric	Continuous Discontinuous
Sweden			Continuous optical or discontinuously gravimetric	

Table III.3: Standard methods for the analysis of particles/dust within the European Union
The table includes only the countries that have provided information

Total reduced sulphur (TRS)

The malodorous, non-condensable gases in cooking of kraft pulp contain H_2S and reduced organic sulphur compounds (mainly methyl mercaptane CH_3SH, dimethyl sulphide $(CH_3)_2S$ and dimethyl disulphide $(CH_3)_2S_2$), the odour tresholds of which are very low. These compounds are easily evaporative and they are present in high concentrations in some gases and condensates in the cooking and evaporation departments. Hydrogen sulphide gas (H_2S) can also be formed in incineration if there is shortage of oxygen in the combustion zone or when acids react with bisulphide ions in liquid phase. High concentration (low volume) gases origin in cooking, evaporation and condensate stripping. They are always incinerated. Low concentration high volume gases are released e.g. in washing, from chip bins, the dissolving tank, the evaporation plant, and thick liquor containers. In kraft pulp mills, diffuse sulphur emissions can be significant.

In order to monitor the total sulphur emissions and to determine the most important emission sources or the compounds that dominate the total emissions it is necessary to carry out measurements that cover the whole plant. These results are the basis for the decision where continuous measurements are necessary, where periodical measurements are valid, and which analyser to choose.

It can be expected that the different practices for determination of untreated TRS emissions that is released diffuse from a number of smaller emission sources will give significant variations of the results. The degree of collection and treatment of diffuse TRS-containing emissions might lead to relevant differences between Member States. Normally, TRS emissions are determined by estimations using results of discontinuous measurements of identified emission sources. Consequently, there is a certain uncertainty when comparing achieved environmental performance of TRS emission reduction in European countries.

3. Solid waste

The producer of waste has to be aware of the various waste fractions generated in the production. This includes information on the amount, quality, properties and origin of the waste generated (i.e. general requirement for bookkeeping). Knowledge about the environmental and health effects of the waste and of such properties that affect waste disposal should also be available. In Europe, the producer normally has an obligation to develop the production towards a less waste generating process (see Annex 4 of the IPPC-Dir.). Operators are required to keep book on wastes generated, collected, stored, transported, utilised or disposed as well as on wastes sold or transmitted. Also the delivery destinations and dates, transportation, utilisation and disposal manners have to be recorded when the waste is delivered elsewhere from the place

of generation. Annually, the authorities have to be informed about the amount, disposal, utilisation, storage or transportation of the wastes generated or obtained elsewhere. The report is drawn up on a special form using the EWC codes (European Waste Catalogue, 94/3/EC) for the wastes.

In most countries there are general requirements for landfills that include an evaluation of the suitability of wastes for landfilling. The general principles in landfill approval are that the composition, leachability and long term behaviour of the waste have to be known. The evaluation of the properties of the waste is based on investigations of the waste by carrying out a number of physico-chemical tests. These tests include an analysis of:

- the composition of the waste
- the organic content and degradation properties of the waste
- the content and leachability of compounds
- ecotoxicological effects of the waste and the landfill waters from the waste

The suitability of a waste for landfilling is usually tested by expert laboratories specialised on leachate and other test for determination the properties of waste. There is variation in the methods used for testing different wastes.

4. Noise

Noise is usually defined as unwanted sound. Sound is a wave motion, which occurs when a sound source sets the surrounding air particles into motion, causing variations in the density and pressure. Any noise source has a characteristic sound power, but the sound pressure it gives rise to depends on many external factors, such as distance, direction, temperature, moisture, wind and the environment.

Acoustic parameters are expressed as a logarithmic ratio of a measured value. The unit for this ratio has been called decibel (dB). The human ear is less sensitive to low frequency sound. In sound level meters a filter is used, which "corrects" the sound spectra in accordance with the ear' s sensitivity. This is called the A-weighted sound level, expressed in dB(A).

The sound levels are usually determined according the following methods:

- field measurements: DIN 45 635 part 47: Measurement of airborne noise emitted by machines
- acoustics laboratory measurements: ISO 3741 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - Precision methods for broad-band sources in reverberation rooms.

In environmental permits it is required that the noise levels must not exceed certain noise immission levels which are set on a case-by-case basis. These noise immission levels are often set separately for residential and recreational areas in daytime (7.00 - 22.00) and in night time (22.00 - 7.00). The operator of a plant normally has to give information of noise dissemination and measures taken for noise abatement.

ANHANG IV BEISPIELE FÜR DIE SCHWANKUNGEN VON EMISSIONEN

Data presented in this document is considered typical for the sector as a whole. Most of the data presented in the BREF represents averages over a year. Where ranges are given, this represents variability across the sector and its dependence on raw materials, process type, different products and applied measures for pollution prevention and control.

However, the difference between emission data based on monthly or yearly average and for instance a daily average can be large, in the range of 100% or more. The variability of individual emissions over time will depend upon the type of installation, the source of the emission, the design and operation of the process, process control, maintenance, the substance concerned and other factors. Care must be exercised in comparing data.

In the following, examples of measured data from different sources of emission and for different parameters are presented and are shortly discussed. The examples are not intended to be complete or to cover all different cases but rather try to raise awareness on the influence of different averaging periods on the reported environmental performance of pulp and paper mills.

Example 1: Air emissions of a recovery boiler from a kraft pulp mill

As an example, the charts below show the variability of emissions from a Kraft recovery boiler firstly over a 3 days period and then over a longer 5 months period.

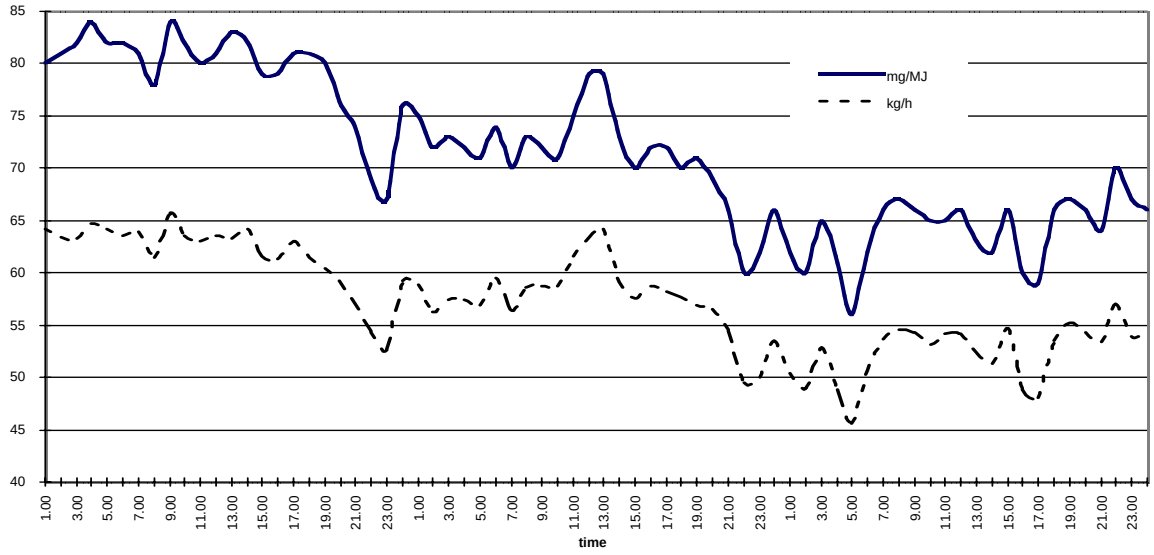


Figure IV.1: Continuous monitoring data of NOx emissions from a kraft recovery boiler over a 3 days period

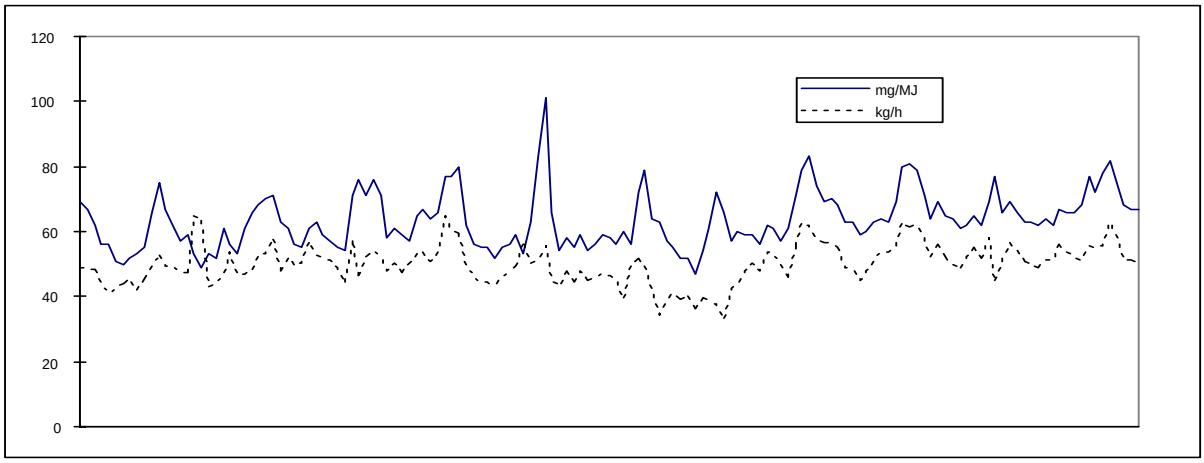


Figure IV.2: Daily average data of NOx emissions from a recovery boiler over a 5 months period

The data represented in Figure IV.1 and Figure IV.2 can be summarised as follows:

Period	Average [mg/MJ]	Maximum [mg/MJ]	Average [kg/h]	Maximum [kg/h]
Day - 1	79	84	61	65
Day - 2	71	79	57	64
Day - 3	64	70	52	57
3 days	71	84	57	65
5 months	64	101	50	65

Although longer sampling periods tend to include more extreme peak values examination of this data demonstrates that longer sampling periods result in lower average values. This is due to the fact that peak values are compensated by a bigger number of values that are close to the average level (normal operation) or below. However, it is difficult to derive arithmetical factors to multiply with between average values and the period of time of measurement.

Additionally, the different expressions either as specific emission per unit of energy or emissions per unit time can give slightly different impressions of performance over these periods although the comparison of average figures come to the same result. In this example, the extreme peak values are less significant when the emissions are expressed as emissions per unit of time.

Example 2: Wastewater discharge of a kraft pulp mill with primary treatment only

This example shows the variability of emissions to water of a bleach kraft pulp mill over a 1-month period and over a longer period. The mill has no biological wastewater treatment.

From the figures below it can be seen that there are significant variations over time. Figure IV.3 shows that in this example the lowest daily average COD load is 23 kg/Adt and the highest daily mean is 71 kg/Adt. The monthly average is 36 COD kg/Adt. There are three peak values. The COD load per day shows less variation. In this example this is because the specific load always increases when the daily production decreases.

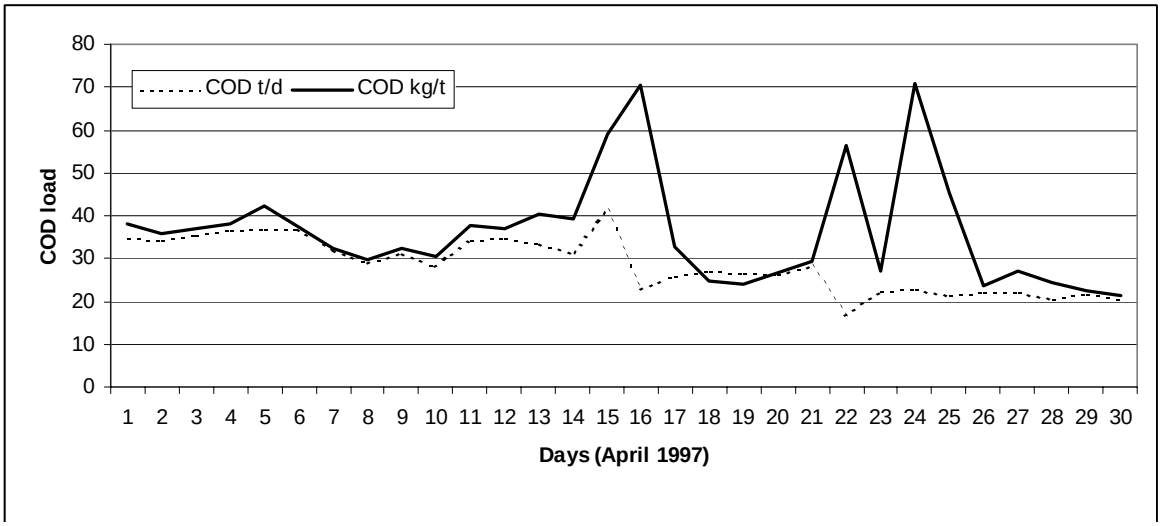


Figure IV.3: Daily average COD emissions to water from a kraft pulp mill over 30-day period

The results of daily average sampling of the same mill over a 6-month period are shown in Figure IV.4.

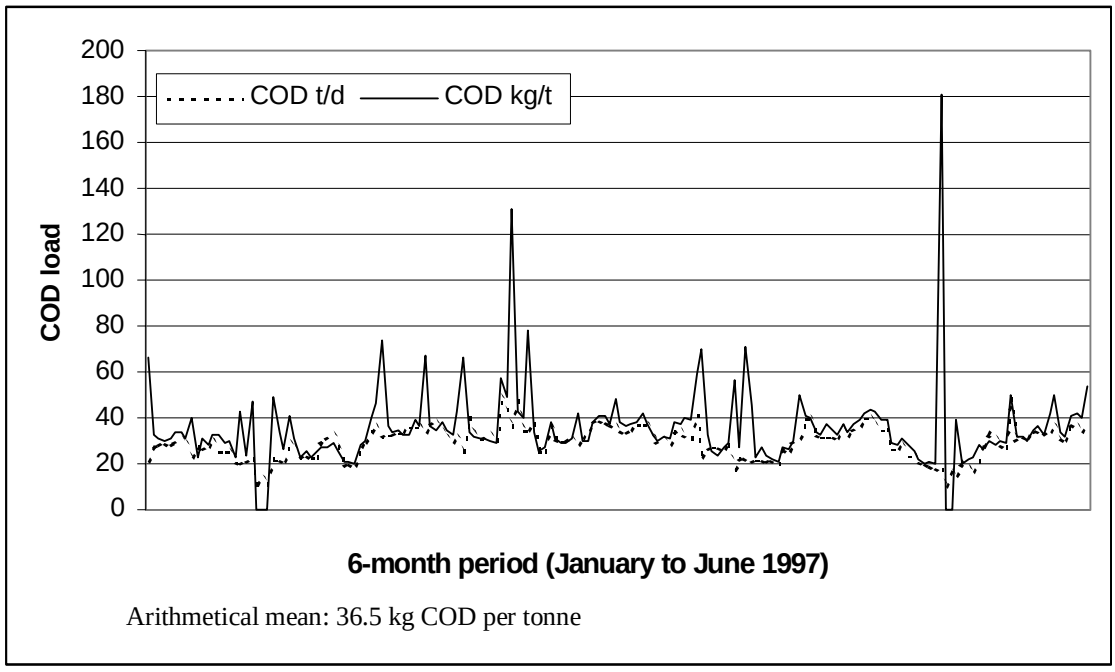


Figure IV.4: Daily average COD emissions to water from a kraft pulp mill over 5-month period

The data presented in Figure IV.4 can be summarised as follows:

Period	Production [tonnes per day]	COD average [kg/t]	COD Minimum [kg/t]	COD Maximum [kg/t]
January	804	33	23	66
February	935	35	25	74
March	921	31	25	131
April	846	36	21	71
May	920	33	20	50
June	859	40	20	181
6 months	881	36.5	20	181

Effluents from bleached kraft pulp mills without biological treatments tend to show a large number of extreme peak values. There is no equipment to buffer higher loads that are directly discharged to the recipient. In contrast, this effect can not be noticed when only longer averaging periods such as monthly or yearly averages are considered.

Example 3: Outflow of a wastewater treatment plant of an integrated sulphite pulp and paper mill

The wastewater treatment system of this example is described in Section 3.3.7.

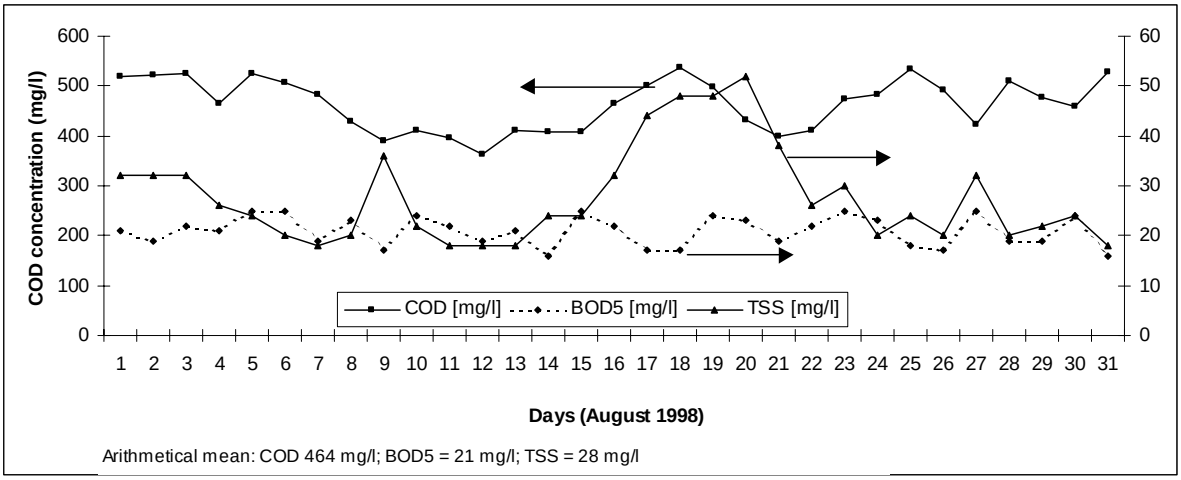


Figure IV.5: Daily average emissions to water from an integrated sulphite pulp and paper mill over a one-month period

The results of daily average sampling of the same mill over a 6-month period as shown in Figure IV.6.

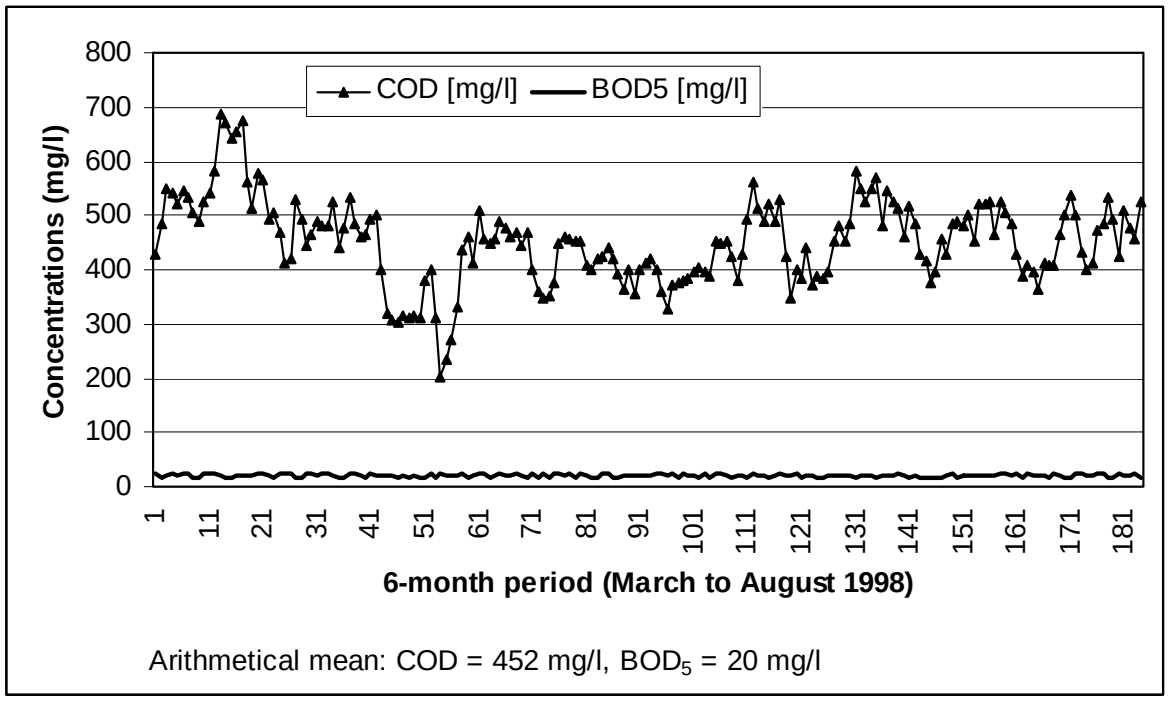


Figure IV.6: Daily average emissions to water from an integrated sulphite pulp and paper mill over a 6-month period

The data presented in Figure IV.5 and Figure IV.6 can be summarised as follows:

Period in 1998	COD [mg/l]			BOD_5 [mg/l]			TSS [mg/l]		
	Average	Minim.	Maxim.	Average	Minim.	Maxim.	Average	Minim.	Maxim.
March	533	414	687	21	15	26	39	28	54
April	396	204	533	21	15	26	21	12	40
May	423	347	487	21	16	26	24	16	36
June	426	329	560	21	15	25	27	10	40
July	472	371	581	20	15	24	25	12	38
August	464	364	537	21	16	25	28	18	52
6 months	452	204	687	21	15	26	27	12	54

Effluents from sulphite pulp mills with biological treatment show little variations on BOD values independently from the averaging period. Also the TSS values fluctuate in a relatively narrow range that is however slightly more distinct than for the BOD values.

COD concentration can vary a little more. However, proper design and maintenance of the effluent treatment plant ensures that extreme peak values are rare. Figure IV.5 shows that in August 1998 the daily averages fluctuate between 364 and 537 mg/l with a daily mean of 452 mg/l. Most of the single monthly averages differ not more (or less) than 10% from the half-year average.

Example 4: Outflow of a wastewater treatment plant of a paper mill

In this example, the wastewater is generated in a paper mill manufacturing wood-containing printing paper with a share of 25% recycled fibre. The measured data given below are referring to the outflow of the two-stage biological treatment (activated sludge + biofiltration) plant. The values cover daily samplings over a whole year. The treatment plant is dimensioned relatively big. In 1998 there were virtually no disturbances. Values measured as 24-h composite sampling are shown in Figure IV.7. They are grouped to classes with same COD-ranges.

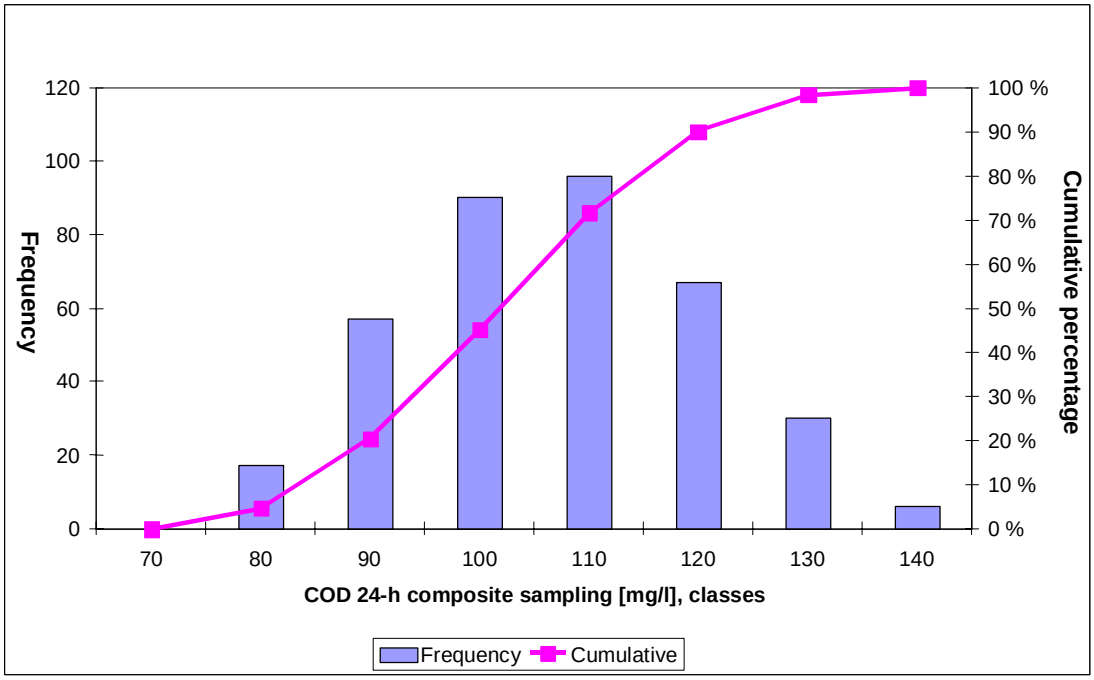


Figure IV.7: Histogram of COD outflow of a paper mill

The yearly average value for COD is 103 mg/l. Most COD values vary in a range between 90 - 120 mg/l. The highest daily average value is 139 mg/l, the lowest 68 mg/l.
If there are more disturbances in the operation of the wastewater treatment plant the difference between arithmetical mean and maximum value can be much higher. From environmental point of view a treatment system with less disturbances is preferable.
There is no "rule of thumb" how to convert yearly averages into monthly averages or daily composite samplings. Within a given range, it can be stated that the shorter the averaging period the bigger the variations of emission. Monthly average values normally vary from month to month to a certain extent (depending on production, wood quality, climatic conditions, etc.). Normally only the statistical analysis of every case gives a reliable answer about the real range of variations.

Variability factors
The variability factor is defined as the ratio of the daily maximum to the monthly average limit. There is no arithmetical method available which allows a direct comparison of short-term to long-term values or a derivation of the one from the other. However, there are some pragmatic approaches based on practical experiences in different countries, which can give a rough idea about the order of magnitude within which the results of measurements for different averaging periods may vary.

- In Germany, for water discharges of chemical pulp mills *after biological treatment* it is assumed that the monitoring value based on a daily mixed sampling is about 60% higher than the annual average value. For instance, a monitoring value based on a 24-h sampling of 40 kg COD/t of pulp equals to an annual average of 25 kg/t of pulp. The daily monitoring value is considered to be fulfilled if four out of five samplings are below the limit and no value exceeds the limit more than 100%.
- The French regulation concerning wastewater from pulp and paper mills makes the following assumption: The monthly average limit is 100% higher than the daily maximum value to meet the minimum requirements set in the regulations.
- In Sweden as a rule of thumb it is assumed that monthly averages can be expected to be up to 20% higher than the annual average for that year

- In Canada there is a fairly wide discrepancy in the variability factors used by each province. For the BOD limit for instance, the variability factor ranges from 1.6 in Québec's regulations to 2.0 in Alberta's permits and Ontario's regulations. A variability factor of 2 means that a daily maximum of 3 kg BOD/t equals to a monthly average of 1.5 kg BOD/t. The federal government has a variability factor of 1.66.
- In the framework of the US cluster rules for water discharge limits it is assumed that the maximum daily specific load (e.g. kg BOD/t of pulp, kg TSS/t of pulp) equals roughly double the value of the average load of a 30 day period.

Variability factors are an important consideration when setting limits since it is a reflection of the degree of stringency of the regulation. Since variability is an inherent characteristic of pulp and paper mill effluents, mills facing low or no (i.e. exclusively daily average limits) variability factors in its discharge limits will need to operate at a lower monthly average discharge level in order to stay within daily limits than mills facing high variability factors but similar monthly average discharge limits. Therefore, when comparing the stringency of discharge limits between countries, it is more important to compare the daily maximum limit than the monthly average limit. The daily limit is the one which mills are most likely to exceed.

In this document, for the description of the environmental performance of pulp and paper mills often annual average values are given. When these performance levels are transferred into limits the variations of emissions over time have to be considered.