Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU)

BVT-Merkblatt zu Abwasser- und Abgasbehandlung/ -management in der chemischen Industrie

Februar 2003

mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung

Umweltbundesamt
(German Federal Environmental Agency)
National Focal Point - IPPC
Postfach 33 00 22
D-14191 Berlin
Tel.: +49 (0)30 8903-0
Fax: + 49 (0)30 8903-3993
E-Mail: nfp-ippc@uba.de (Subject: NFP-IPPC)

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und die 16 Bundesländer haben eine Verwaltungsvereinbarung geschlossen, um gemeinsam eine auszugsweise Übersetzung der BVT-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 1 bis 6 des von der Europäischen Kommission veröffentlichten BVT-Merkblattes zu Abwasser- und Abgasbehandlung / -management in der chemischen Industrie, in denen die Besten Verfügbaren Techniken beschrieben sind, sind im Rahmen dieser Verwaltungsvereinbarung im Auftrag des Umweltbundesamtes übersetzt worden.

Der nicht übersetzte Teil dieses Dokumentes (Anhänge) liegt in der englischsprachigen Originalfassung vor. Dieser englischsprachige Teil enthält weitere Informationen (u. a. Emissionsdaten der Branche, Vorgehensbeschreibungen etc.). An einigen Stellen gibt es in der deutschen Übersetzung Verweise auf nicht übersetzte Textpassagen. Die deutsche Übersetzung sollte daher immer in Verbindung mit dem englischen Text verwendet werden.

Die Kapitel „Zusammenfassung“, „Vorwort“, „Anwendungsbereich“ und „Abschließende Bermerkungen“ 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 unter **www.bvt.umweltbundesamt.de** abrufbar.

Durchführung der Übersetzung in die deutsche Sprache:

Dr. Kurt Harff
Hubertushof 10
D-40882 Ratingen
Tel.: +49 (0) 2102 135488
Fax: +49 (0) 2102 135488
E-Mail: **Kurt.Harff@t-online.de**

Dr. Dieter Kaltenmeier
Heimatstr. 14
D-79199 Kirchzarten
Tel.: +49 (0)
Fax: +49 (0)
E-Mail: **d.kaltenmeier@t-online.de**

Dr. Harald Schönberger
Carl-Frey-Str. 3
D-79288 Gottenheim
Tel.: +49 (0) 7665 51242
Fax: +49 (0) 7665 7174
E-Mail: **hgschoe@aol.com**

Dr. Dietmar Wunderlich
Adele-Sandrock-Str. 98
D-12627 Berlin
Tel.: +49 (0) 30 9917013
E-Mail: **dietmarwunderlich@yahoo.de**

ZUSAMMENFASSUNG

EINFÜHRUNG

Das vorliegende BVT-Merkblatt (Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken) zum Thema Abwasser-/Abgasbehandlung und -management in der chemischen Industrie ist das Ergebnis eines Informationsaustauschs gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates. In der vorliegenden Zusammenfassung, die im Zusammenhang mit der im Vorwort des BVT-Merkblatts gegebenen Erläuterung der Zielsetzungen, der Verwendung und dem rechtlichen Rahmen zu betrachten ist, werden die wichtigsten Erkenntnisse, die wesentlichen Schlussfolgerungen zu den BVT und den mit diesen verbundenen Emissionswerten beschrieben. Sie kann als eigenständiges Dokument betrachtet werden, das jedoch als Zusammenfassung nicht die gesamte Vielschichtigkeit der vollständigen Textfassung des Referenzdokuments widerspiegelt. Die Zusammenfassung kann daher nicht als Ersatz für die vollständige Textversion des Dokuments dienen, bei dem es sich um ein Hilfsmittel im Prozess der Bestimmung der BVT handelt.

Die Abwasser- und Abgasbehandlung wurde als ein Querschnittsthema für die chemische Industrie ermittelt, deren Tätigkeiten in Anhang I Abschnitt 4 der Richtlinie aufgeführt sind. Das bedeutet, dass der Begriff „beste verfügbare Techniken (BVT)“ in diesem Dokument für den gesamten Chemie-Sektor bestimmt wird, unabhängig von dem/den jeweiligen Herstellungsverfahren und der Art bzw. der Größe des/der betroffenen Chemieunternehmen. Es bedeutet darüber hinaus, dass sich der Begriff BVT - neben den Behandlungstechnologien – auch auf eine Managementstrategie erstrecken muss, wenn eine optimale Abfallvermeidung oder –behandlung erreicht werden soll.

Folglich erstreckt sich dieses Dokument auf:

- den Einsatz von Umweltmanagementsystemen und –instrumenten;
- die Anwendung von Behandlungstechnologien für Abwasser und Abgas wie sie in der Chemischen Industrie eingesetzt werden bzw. einsetzbar sind, einschließlich Behandlungstechnologien für Klärschlamm, soweit diese am Standort der chemischen Industrie eingesetzt werden;
- die Ermittlung von BVT bzw. Schlussfolgerungen bezüglich BVT auf der Grundlage der beiden vorgenannten Punkte, und daraus abgeleitet eine Strategie der optimalen Verminderung der Umweltverschmutzung sowie - unter geeigneten Bedingungen – mit BVT verbundenen Emissionswerten am Übergabepunkt in die Umwelt.

In diesem Dokument werden nur die in der chemischen Industrie üblicherweise eingesetzten oder einsetzbaren Techniken behandelt. Prozessspezifische oder prozessintegrierte Techniken (d. h. keine Behandlungsverfahren) bleiben den vertikalen Referenzdokumenten überlassen. Trotz seiner inhaltlichen Beschränkung auf die chemische Industrie ist allgemein anerkannt, dass das Dokument auch für andere Sektoren (z. B. für den Raffineriesektor) wertvolle Informationen enthalten kann.

ALLGEMEINES (KAPITEL 1)

Die wichtigsten Auswirkungen auf die Umwelt, die durch Freisetzungen aus Chemieanlagen verursacht werden, sind Emissionen in Luft und Wasser.

Die bedeutendsten Anfallstellen von **Abwasser** in der chemischen Industrie sind:

- chemische Synthesen,
- Abgasbehandlungssysteme,
- Aufbereitung von Brauchwasser,
- Abschlämmung aus Kesselspeisewassersystemen,
- Abschlämmung aus Kühlkreisläufen,
- Rückspülwasser von Filtern und Ionenaustauschern,
- Deponie-Sickerwasser,
- Regenwasser aus kontaminierten Bereichen usw.

Die wichtigsten Auswirkungen werden bestimmt durch:

- hydraulische Belastung,
- Schadstoffgehalte (ausgedrückt als Fracht oder Konzentration),
- Auswirkungen auf bzw. Gefährdungspotenziale für den Vorfluter (ausgedrückt als Leit- oder Summenparameter),
- Auswirkungen auf Organismen im Vorfluter (ausgedrückt durch Toxizitätsdaten).

Abgasemissionen gibt es in der Form von:

- gefassten Emissionen, die als einzige behandelt werden können,
- diffusen Emissionen,
- flüchtigen Emissionen.

Zu den Hauptschadstoffen der Luft zählen:

- flüchtige organische Verbindungen (VOC),
- Schwefelverbindungen (SO_2, SO_3, H_2S, CS_2, COS),
- Stickstoffverbindungen (NO_x, N_2O, NH_3, HCN),
- Halogenverbindungen (Cl_2, Br_2, HF, HCl, HBr),
- Verbindungen aus unvollständiger Verbrennung (CO, C_xH_y),
- Stäube/Schwebstoffe.

MANAGEMENTSYSTEME UND –INSTRUMENTE (KAPITEL 2)

Umweltmanagement ist eine Strategie zum Umgang mit der Freisetzung (oder deren Vermeidung) von Abfallstoffen aus den Tätigkeiten der (chemischen) Industrie unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen, durch die die integrierte Leistung eines Chemiestandorts verbessert wird. Eine solche Strategie ermöglicht dem Betreiber,

- Einblick in die emissionsverursachenden Mechanismen der Produktionsprozesse zu gewinnen;
- ausgewogene Entscheidungen in Bezug auf Umweltschutzmaßnahmen zu treffen;
- temporäre Lösungen und nicht profitable Investitionen zu vermeiden;
- angemessen und aktiv auf neue Entwicklungen im Umweltbereich zu reagieren.

Ein **Umweltmanagementsystem** (Abschnitt 2.1) besteht in der Regel aus einem sich kontinuierlich wiederholenden Prozess, dessen einzelne Schritte sich auf eine Reihe von Managementinstrumenten und technischen Instrumenten (Abschnitt 2.2) stützen, die grob unterteilt werden können in:

- **Instrumente für die Bestandsaufnahme**, die als Ausgangspunkt detaillierte und transparente Informationen liefern, um die notwendigen Entscheidungen in Bezug auf die Abfallvermeidung, -minimierung und -behandlung treffen zu können. Zu ihnen zählen:
  - Bestandsaufnahme der Standorte (Standortkataster), die ausführliche Informationen über den Standort, die Produktionsprozesse und die entsprechenden Anlagen, die vorhandene Kanalisation usw. liefert;
  - Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgasströme (Abwasser- und Abgaskataster) mit detaillierten Informationen über die Abfallströme (Menge, Schadstofffracht, Schwankungsbreite usw.), ihren Quellen, sowie eine Quantifizierung, Bewertung und Validierung der Ursachen der Emissionen bis hin zu einer Rangfolge („ranking“) der verschiedenen Ströme. Dies ermöglicht die Erstellung einer Prioritätenliste und die Ermittlung der Optionen für künftige Verbesserungen. Eine Gesamtabwasserbewertung (Whole Effluent Assessment) sowie eine Bewertung der Verringerung des Wasserverbrauchs wie auch der Abwassereinleitungen sind ebenfalls Teil dieser Bestandsaufnahme;
  - Energie- und Stoffflussanalyse, die auf eine Verbesserung der Effektivität des Prozessablaufes (bezüglich Verbrauch von Energie und Rohstoffen sowie der Abfallentstehung) abzielt.

- **Betriebliche Instrumente,** mit denen die Entscheidungen des Umweltmanagements in konkrete Maßnahmen umgesetzt werden. Dazu zählen:
  - Überwachung und regelmäßige Wartung;
  - Festsetzung und regelmäßige Überprüfung der internen Zielsetzungen oder Programme zur kontinuierlichen Verbesserung der Umweltleistung;
  - Wahl von Behandlungsmöglichkeiten und Sammelsystemen (beispielsweise auf Grundlage der Ergebnisse der Bestandsaufnahmen) und deren Einbau;
  - Qualitätssicherungsverfahren, die als „Troubleshooter“ eingesetzt werden, wenn ein bestehendes Behandlungsverfahren außer Kontrolle gerät oder die vorgegebenen Anforderungen nicht erfüllen kann. Zu diesen Verfahren zählen z. B. Ursache-Wirkungs-Diagramme, Pareto-Analysen, Flussdiagramme oder die Statistische Prozesslenkung.
- **Strategische Instrumente**, die sich auf die integrierte Organisation und Durchführung des Abfallmanagements am gesamten Chemie-Standort erstrecken und mit denen die ökologischen und wirtschaftlichen Optionen bewertet werden. Dazu zählen:
  - die Risikoabschätzung als allgemein übliches Verfahren zur Bestimmung der Risiken für Mensch und Umwelt, die durch die verschiedenen Produktionsprozesse entstehen;
  - das Benchmarking als ein Verfahren, um die Leistungen verschiedener Anlagen oder Standorte miteinander zu vergleichen;
  - die Lebenszyklusbewertung (life cycle assessment) als ein Verfahren, um die potenziellen Umweltauswirkungen der verschiedenen Betriebsweisen miteinander zu vergleichen;
- **Sicherheits- und Notfallinstrumente**, die für unvorhergesehene Ereignisse wie Unfälle, Brände oder Verschütten (unbeabsichtigte Freisetzungen) erforderlich sind.

BEHANDLUNGSVERFAHREN (KAPITEL 3)

Bei den Verfahren, die von der technischen Arbeitsgruppe (TWG) ermittelt wurden und die in dem vorliegenden Dokument beschrieben werden, handelt es sich um Verfahren, die im gesamten Chemie-Sektor eingesetzt werden. Sie werden in logischer Reihenfolge, dem Schadstoffpfad folgend, vorgestellt.

Die beschriebenen Verfahren für die Behandlung von ABWASSER sind:

- **Trenn- oder Klärverfahren**, die hauptsächlich in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt werden, entweder als erste Stufe (um nachgeschaltete Behandlungsanlagen vor Beschädigung, Verstopfung oder Verschmutzung durch Feststoffe zu schützen) oder zur Nachklärung (um Feststoffe oder Öle zu entfernen, die in einer vorhergehenden Behandlungsstufe entstanden sind):
  - Sandabscheidung,
  - Sedimentation,
  - Luftflotation,
  - Filtration,
  - Mikrofiltration / Ultrafiltration,
  - Öl-/Wasser-Abscheidung;

- **Physikalisch-chemische Behandlungsverfahren** für biologisch nicht abbaubares Abwasser, die hauptsächlich für anorganische oder nur biologisch schwer abbaubare (oder inhibierende) organische Schadstoffe eingesetzt werden, häufig als Vorbehandlungsstufe vor einer (zentralen) biologischen Abwasserbehandlungsanlage:
  - Fällung/Sedimentation/Filtration,
  - Kristallisation,
  - chemische Oxidation,
  - Nassoxidation,
  - Oxidation mit überkritischem Wasser,
  - chemische Reduktion,
  - Hydrolyse,
  - Nanofiltration / Umkehrosmose,
  - Adsorption,
  - Ionenaustausch,

- Extraktion,
- Destillation / Rektifikation,
- Eindampfung,
- Strippung,
- Verbrennung;

- **biologische Behandlungsverfahren** für biologisch abbaubares Abwasser:
  - anaerobe Abbauverfahren, wie anaerobes Kontaktverfahren, UASB-Verfahren, Festbettverfahren, Fließbettverfahren sowie biologische Elimination von Schwefelverbindungen und Schwermetallen;
  - aerobe Abbauverfahren wie Verfahren mit vollständig durchmischtem Belebtschlamm, Membranbioreaktor-Verfahren, Tropfkörperverfahren, Fließbettverfahren, Biofilter/Festbett-Verfahren;
  - Nitrifikation / Denitrifikation;
  - zentrale biologische Abwasserbehandlung.

Bei den beschriebenen Verfahren für die Behandlung von KLÄRSCHLAMM handelt es sich entweder um Einzeloptionen oder um eine Kombination von Einzeloptionen. Die unten angeführte Auflistung soll keinesfalls als Rangfolge betrachtet werden. Die Verfügbarkeit (oder Nichtverfügbarkeit) eines Entsorgungsweges kann jedoch – zumindest auf örtlicher Ebene – ein entscheidender Faktor für die Wahl eines geeigneten Abwasserbehandlungsverfahrens sein. Die beschriebenen Klärschlammbehandlungsverfahren sind:

- Vorbehandlungsverfahren,
- Schlammeindickung,
- Schlammstabilisierung,
- Schlammkonditionierung,
- Schlammentwässerung,
- Schlammtrocknung,
- thermische Schlammoxidation,
- Deponierung am Standort.

Bei den beschriebenen Verfahren für die Behandlung von ABGAS kann nicht einfach zwischen Rückgewinnungs- und Reinigungsverfahren unterschieden werden. Die Schadstoffrückgewinnung ist vom Einsatz zusätzlicher Trennstufen abhängig. Einige Verfahren können als eigenständige Endbehandlung betrachtet werden; andere dagegen lediglich als Vorbehandlung oder Schönung. Die meisten Verfahren zur Abgasbehandlung erfordern eine weitere nachgeschaltete Behandlung des Abwassers oder Abgases, das während der Behandlung entstanden ist. Die Verfahren sind:

- **für flüchtige organische Verbindungen (VOC) und anorganische Verbindungen**:
  - Membranabscheidung,
  - Kondensation,
  - Adsorption,
  - Nasswäsche,
  - Biofiltration,
  - Biowäsche,
  - Biorieselbettverfahren,
  - thermische Oxidation,
  - katalytische Oxidation,
  - Abfackeln;

- **für Stäube/Schwebstoffe**:
  - Abscheider,
  - Zyklon,
  - elektrostatischer Abscheider,
  - Nassentstauber,
  - Gewebefilter,
  - katalytische Filtration,
  - zweistufige Staubfilter,
  - Absolutfilter (HEPA-Filter),
  - Hochleistungsfilter,
  - Nebelabscheider;

- **für gasförmige Schadstoffe in Verbrennungsabgasen**:
  - trockene Sorptionsmitteleinspritzung,
  - halbtrockene Sorptionsmitteleinspritzung,
  - nasse Sorptionsmitteleinspritzung,
  - selektive nichtkatalytische Reduktion von NO_x (SNCR),
  - selektive katalytische Reduktion von NO_x (SCR).

SCHLUSSFOLGERUNGEN BEZÜGLICH DER BESTEN VERFÜGBAREN TECHNIKEN (KAPITEL 4)

Die chemische Industrie deckt ein breites Spektrum unterschiedlicher Unternehmen ab; ausgehend von Kleinunternehmen, die sich auf nur ein Verfahren und wenige Produkte konzentrieren und in denen nur an einer oder wenigen Stellen Abfälle entstehen, bis hin zu Großunternehmen mit umfangreichem Produktionsmix und komplexen Abfallströmen. Doch obwohl es wahrscheinlich keine zwei Chemiebetriebe gibt, die in Bezug auf Produktionsumfang und –mix, ihre Umweltsituation sowie die Menge und Beschaffenheit der Emissionen vollständig miteinander vergleichbar sind, können im Hinblick auf die Abwasser- und Abgasbehandlung BVT für den gesamten Chemie-Sektor beschrieben werden.

In neuen Anlagen ist die Einführung von BVT normalerweise unproblematisch. In den meisten Fällen ist es ökonomisch sinnvoll, die Produktionsprozesse und die daraus entstehenden Abfallströme so zu planen, dass Emissionen und Materialverbrauch minimiert werden. Bei bestehenden Anlagen dagegen ist die Einführung von BVT aufgrund der bereits vorhandenen Infrastruktur und der spezifischen örtlichen Gegebenheiten im Allgemeinen keine leichte Aufgabe. Dennoch wird in diesem Dokument nicht zwischen BVT für neue und bestehende Anlagen unterschieden. Eine solche Unterscheidung wäre einer Verbesserung der Umweltleistung industrieller Standorte - was den Einsatz von BVT betrifft - nicht zuträglich und trüge den Bemühungen der chemischen Industrie um eine kontinuierliche Verbesserung der Umweltbedingungen nicht Rechnung.

❑ Management

Wie aus der umfassenden Beschreibung des Umweltmanagements in Kapitel 2 ersichtlich , ist ein Umweltmanagementsystem (UMS) die Voraussetzung für eine gute Umweltleistung. Letztendlich führt die ordnungsgemäße und permanente Anwendung eines anerkannten UMS zu einer optimalen Umweltleistung eines Chemie-Standortes und somit zu BVT.

In diesem Sinne ist die Einführung und Anwendung eines UMS BVT. Ein UMS kann u.a. umfassen:

- Einführung einer transparenten Hierarchie in der Mitarbeiterverantwortung, wobei die zuständigen Mitarbeiter der Unternehmensleitung direkt Bericht erstatten;
- Erstellung und Veröffentlichung eines jährlichen Umweltberichts;
- Festlegung interner (standort- oder unternehmensspezifischer) Umweltziele, die in regelmäßigen Abständen überprüft und im Jahresbericht veröffentlicht werden;
- Durchführung regelmäßiger Audits, um die Einhaltung der Grundsätze des UMS sicherzustellen;
- regelmäßige Überwachung der Leistungen und Fortschritte in Bezug auf die Umsetzung des UMS;

- kontinuierliche Durchführung von Risikobewertungen, um mögliche Gefahren festzustellen;
- kontinuierliches Benchmarking und eine laufende Überprüfung der Verfahren (Produktion und Abfallbehandlung) mit Blick auf eine Verringerung ihres Wasser- und Energieverbrauchs, der Abfallentstehung und der medienübergreifenden Auswirkungen;
- Durchführung eines geeigneten Schulungsprogramms für die Mitarbeiter und Erarbeitung von Anleitungen für die am Standort tätigen Subunternehmer in Bezug auf Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltaspekte sowie in Notfällen zu treffende Maßnahmen;
- Anwendung bewährter Praktiken der Instandhaltung.

Ferner ist BVT, ein Abwasser-/Abgasmanagementsystem (bzw. eine Abwasser-/Abgasbewertung) als Teilsystem des UMS einzuführen, das aus einer geeigneten Kombination der folgenden Maßnahmen besteht:

- Bestandsaufnahme des Standortes und Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgasströme (Kataster);
- für jedes Medium die Ermittlung und Prüfung der wichtigsten Emissionsquellen und deren Auflistung entsprechend ihrer Schadstofffrachten;
- Prüfung der Auswirkungen der Emissionen auf die aufnehmenden Medien (Luft und Wasser) und deren Emissionstoleranz; anhand dieser Ergebnisse sollte festgelegt werden, inwieweit eine weitergehende Behandlung erforderlich ist oder die Emissionen überhaupt nicht akzeptiert werden können;
- Prüfungen von Toxizität, Persistenz und potenzieller Bioakkumulation des Abwassers, das in einen Vorfluter eingeleitet werden soll; Übermittlung der Ergebnisse an die zuständigen Behörden;
- Ermittlung und Untersuchung der Prozesse mit relevantem Wasserverbrauch und deren Auflistung entsprechend ihrem Wasserverbrauch;
- Verfolgen von Verbesserungsmöglichkeiten, mit besonderem Gewicht auf Ströme mit höheren Konzentrationen und Schadstofffrachten, ihrem Gefährdungspotenzial für und ihre Auswirkungen auf den Vorfluter[1];
- Bewertung der wirksamsten Optionen durch einen Vergleich der gesamten Reinigungsleistung, der Gesamtbilanz in Bezug auf die medienübergreifenden Wirkungen, der technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Machbarkeit usw.

Ferner ist BVT:

- bei der Planung neuer Tätigkeiten bzw. bei Änderungen bestehender Tätigkeiten die Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Behandlungsanlagen zu bewerten;
- die Emissionen an ihrem Entstehungsort zu verringern;
- die Produktionsdaten mit den Daten über die emittierten Frachten abzugleichen, um die tatsächlichen und die berechneten Emissionen zu vergleichen;
- sofern keine schwerwiegenden Gründe dagegen sprechen, belastete Abfallströme am Entstehungsort zu behandeln statt zu verdünnen und anschließend einer zentralen Behandlung zu unterziehen,
- Qualitätssicherungsverfahren einzusetzen, um die Behandlung und/oder die Produktionsprozesse zu bewerten und/oder um zu verhindern, dass diese außer Kontrolle geraten;
- bei der Reinigung der Anlagen eine gute Verfahrenspraxis anzuwenden, um Emissionen in Wasser und Luft zu verringern;
- Anlagen/Verfahren einzurichten, um ein frühzeitiges Erkennen von Abweichungen mit Auswirkungen auf die nachgeschalteten Behandlungsanlagen zu ermöglichen und so den Ausfall dieser Anlagen zu vermeiden;
- ein wirksames zentrales Warnsystem einzubauen, das allen zuständigen Stellen Betriebsausfälle und -störungen meldet;
- ein Überwachungsprogramm für alle Abfallbehandlungsanlagen einzuführen, um deren ordnungsgemäßen Betrieb zu kontrollieren;
- Strategien zur Behandlung von Löschwasser und Überlaufwasser festzulegen;
- einen Notfallplan für unbeabsichtigte Freisetzungen festzulegen;
- die mit der Abwasser- und Abgasbehandlung verbundenen Kosten der Produktion zuzuordnen.

Obwohl prozessintegrierte Maßnahmen in diesem Dokument nicht behandelt werden, stellen sie ein wichtiges Mittel zur Optimierung der Umweltleistung von Produktionsprozessen dar. BVT ist daher:

[1] Ein Mitgliedstaat wünscht eine genauere Definition des Begriffs „Ströme mit höheren Konzentrationen“, die konkrete Werte für die Belastung und/oder Konzentration umfasst. Eine abweichende Meinung wird aufgezeigt. Weitere Einzelheiten hierzu finden sich in Kapitel 4.

- Einsatz prozessintegrierter Maßnahmen anstelle von „End-of-pipe“-Technologien, wenn eine solche Option besteht;
- Bewertung bestehender Produktionsanlagen im Hinblick auf die Möglichkeit einer Nachrüstung von prozessintegrierten Maßnahmen. Sollte eine solche Option bestehen, sollte diese möglichst realisiert werden (spätestens jedoch wenn größere Änderungen an der Anlage vorgenommen werden).

❑ Abwasser

Ein geeignetes ABWASSERSAMMELSYSTEM ist für eine wirksame Verringerung und/oder Behandlung von Abwasser von essentieller Bedeutung. Über dieses System werden die Abwasserströme in die zugehörige Behandlungsvorrichtung geleitet und es wird verhindert, dass sich verschmutztes Abwasser mit nicht verschmutztem vermischt. BVT ist daher:

- Trennung von Prozessabwasser von nicht verschmutztem Regenwasser und anderen nicht verunreinigten Abwasserströmen. Sollten bestehende Standorte noch nicht über ein Trennsystem verfügen, so sollte dieses – zumindest teilweise – installiert werden, wenn größere Änderungen am Standort vorgenommen werden;
- Trennung von Prozessabwasser entsprechend seiner Schadstofffracht;
- Überdachung von verschmutzungsgefährdeten Flächen, überall wo dies machbar ist;
- separate Entwässerung verschmutzungsgefährdeter Flächen (mit Pumpensumpf, um Wasser aus Leckagen oder Überlaufwasser aufzufangen);
- Nutzung oberirdischer Kanäle für Prozessabwasser innerhalb des Industriestandorts zwischen dem Ort des Abwasseranfalls und der/den Endbehandlungsanlage/n. Sollten die klimatischen Bedingungen oberirdische Kanäle (Temperaturen erheblich unter 0°C) nicht zulassen, stellt eine Ableitung über zugängliche unterirdische Kanäle eine geeignete Alternative dar. Viele Standorte der chemischen Industrie verfügen noch immer über unterirdische Abwasserkanäle, und der sofortige Bau eines neuen Kanalsystems ist in der Regel nicht finanzierbar. Allerdings kann diese Maßnahme schrittweise im Zuge größerer Umbaumaßnahmen an den Produktionsanlagen oder dem Kanalisationssystem realisiert werden;
- der Einbau von Rückhaltekapazitäten für Betriebsstörungen und Löschwasser entsprechend den Ergebnissen einer Risikobewertung.

Die ABWASSERBEHANDLUNG im Chemie-Sektor erfolgt nach mindestens vier verschiedenen Strategien:

- zentrale Endbehandlung in einer biologischen Kläranlage am Standort;
- zentrale Endbehandlung in einer kommunalen Kläranlage;
- zentrale Endbehandlung anorganischen Abwassers in einer mechanisch-chemischen Kläranlage;
- dezentrale Behandlung/en.

Keine dieser vier Alternativen ist gegenüber den anderen zu bevorzugen, sofern ein insgesamt gleichwertiges Umweltschutzniveau sichergestellt wird und es nicht zu einer höheren Belastung der Umwelt kommt [Artikel 2 Absatz 6 der Richtlinie].

An dieser Stelle wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Entscheidungen des Abwassermanagements getroffen wurden, die Auswirkungen auf den Vorfluter bewertet, alle praktikablen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung des Abwasseranfalls ausgeschöpft und alle erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen berücksichtigt wurden. Das heißt, dass ab hier nur noch „End-of-pipe“-Lösungen betrachtet werden.

Für **Niederschlagswasser** (Regenwasser) ist BVT:

- nicht verschmutztes Niederschlagswasser getrennt von der Abwasserkanalisation direkt in den Vorfluter einzuleiten (Trennkanalisation);
- Niederschlagswasser von verunreinigten Flächen vor der Einleitung in den Vorfluter zu behandeln.

In einigen Fällen könnte die Nutzung von Niederschlagswasser als Prozesswasser ökologisch sinnvoll sein, da so der Frischwasserverbrauch verringert werden kann.

Geeignete Behandlungseinrichtungen sind:

- Sandfang,
- Rückhalteteiche,
- Absetzbecken,
- Sandfilter.

Es ist BVT, **Öl und/oder Kohlenwasserstoffe** zu entfernen, wenn diese in großen Klumpen auftreten oder mit anderen Systemen unverträglich sind. Ziel ist, die Rückgewinnung durch Einsatz einer geeigneten Kombination folgender Verfahren zu maximieren:

- Öl-/Wasserabscheidung durch Zyklon, Mikrofiltration oder API-Abscheider, wenn große Klumpen freien Öls und/oder Kohlenwasserstoffe zu erwarten sind; ansonsten stellt der Einsatz von Parallelplattenabscheidern und Wellplattenabscheidern eine Alternative dar;
- Mikrofiltration, Granulat-Medium-Filtration (Sandfilter) oder Entspannungsflotation;
- biologische Behandlung.

mit BVT verbundene Emissionswerte	
Parameter	**Konzentration[a] [mg/l]**
Gesamtkohlenwasserstoff [b]	0,05-1,5
BSB_5	***2-20***
CSB	30-125

[a] monatlicher Durchschnitt
[b] Hinsichtlich der analytischen Verfahren zur Bewertung der Kohlenwasserstoffe gibt es in der TWG Unstimmigkeiten, die nicht ausgeräumt werden konnten.

BVT ist, **Emulsionen** am Entstehungsort zu spalten und/oder zu beseitigen.

Für Feststoffe **(total suspended solids – TSS, d. h. abfiltrierbare/absetzbare Stoffe)** ist es BVT, diese aus den Abwasserströmen zu entfernen, falls sie nachgeschaltete Anlagen beschädigen oder stören können, oder ggf. bevor sie in einen Vorfluter eingeleitet werden (TSS, die Schwermetallverbindungen oder Belebtschlamm enthalten, bedürfen anderer Maßnahmen). Häufig eingesetzte Techniken sind:

- Sedimentation / Luftflotation, um den größten Teil der Feststofffracht zurückzuhalten,
- mechanische Filtration zur weiteren Verringerung des Feststoffgehalts,
- Mikrofiltration oder Ultrafiltration, wenn feststofffreies Wasser benötigt wird.

Techniken, die eine Stoffrückgewinnung ermöglichen, sind zu bevorzugen.

Ferner ist es BVT,

- Geruchs- und Lärmemissionen durch eine Abdeckung oder eine Kapselung der Einrichtung zu vermindern und die Abluft soweit erforderlich einer weiteren Abluftbehandlung zuzuleiten;
- Schlamm entweder durch Übergabe an einen lizenzierten Auftragnehmer zu entsorgen oder vor Ort zu behandeln (siehe den Abschnitt zur Schlammbehandlung).

Da **Schwermetalle** chemische Elemente sind, die nicht zerstört werden können, sind Rückgewinnung und Wiederverwertung die einzigen Möglichkeiten, ihre Freisetzung in die Umwelt zu verhindern. Alle anderen Optionen bewirken lediglich eine Verlagerung der Belastung zwischen den verschiedenen Medien: Abwasser, Abluft und Deponien.

Für Schwermetalle ist es daher BVT **alle** folgenden Maßnahmen durchzuführen:

- soweit möglich vollständig getrennte Ableitung von Abwasser, das Schwermetallverbindungen enthält, und
- Behandlung der getrennt abgeleiteten Abwasserströme an deren Entstehungsort, bevor sie mit anderen Strömen vermischt werden, und
- Einsatz von Techniken, die eine möglichst weitgehende Rückgewinnung ermöglichen, und
- weitere Elimination von Schwermetallen in einer abschließenden Abwasserbehandlungsanlage als Nachreinigung mit, soweit erforderlich, anschließender Schlammbehandlung.

Die geeigneten Techniken sind:

- Fällung / Sedimentation (oder alternativ: Luftflotation) / Filtration (oder alternativ: Mikrofiltration oder Ultrafiltration),
- Kristallisation,
- Ionenaustausch,
- Nanofiltration (oder alternativ: Umkehrosmose).

Da die Emissionswerte, die durch diese Behandlungstechniken erreicht werden können, in starkem Maße von dem Prozess abhängig sind, bei dem die Schwermetalle anfallen, sah sich die TWG nicht in der Lage, für den gesamten Chemie-Sektor gültige Emissionswerte für BVT zu bestimmen. Es wurde empfohlen, dieses Thema in den Referenzdokumenten zu den jeweiligen Verfahren zu behandeln.

Der **Gehalt an anorganischen Salzen (und/oder Säuren)** im Abwasser kann sowohl die Ökologie des Vorfluters beeinflussen (dies gilt beispielsweise für kleine Flüsse, wenn diese durch hohe Salzfrachten belastet werden) als auch den Betrieb des Kanalisationssystems beeinträchtigen (z. B. durch Korrosion von Rohren, Ventilen und Pumpen sowie durch Störungen im Betrieb nachgeschalteter biologischer Behandlungsanlagen). Sollte eine der genannten Prämissen (oder beide) zutreffen, ist es BVT, den anorganischen Salzgehalt zu vermindern, vorzugsweise am Ort der Entstehung und unter Anwendung von Techniken, die eine Rückgewinnung ermöglichen. Geeignete Behandlungstechniken (ohne Techniken zur Behandlung von Schwermetallen oder Ammoniumsalzen) sind:

- Eindampfung,
- Ionenaustausch,
- Umkehrosmose,
- biologische Sulfatentfernung (diese wird ausschließlich für Sulfate eingesetzt, doch werden vorhandene Schwermetalle mit entfernt).

Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen, sind beispielsweise schwer abbaubare TOC und/oder toxische Stoffe, die den biologischen Prozess hemmen. Deshalb muss die Einleitung solcher Schadstoffe in eine biologische Behandlungsanlage vermieden werden. Eine Vorhersage, welche Schadstoffe hemmend auf die biologischen Prozesse in Abwasserbehandlungsanlagen wirken, ist jedoch nicht möglich, da

dies von der Adaption der in der jeweiligen Anlage wirkenden Mikroorganismen an die Schadstoffe abhängig ist. Daher ist es BVT, den Eintrag von Abwasserinhaltsstoffen in biologische Behandlungssysteme zu vermeiden, wenn sie zu Störungen dieser Systeme führen können und Abwasserteilströme mit relevantem nicht biologisch abbaubarem Anteil mit Hilfe geeigneter Techniken zu behandeln.[2]

- Alternative 1: Techniken, die eine Stoffrückgewinnung ermöglichen:
  - Nanofiltration oder Umkehrosmose,
  - Adsorption,
  - Extraktion,
  - Destillation / Rektifikation,
  - Eindampfung,
  - Strippung;
- Alternative 2: Behandlungstechniken ohne zusätzlichen Brennstoffbedarf, wenn eine Rückgewinnung nicht machbar ist:
  - chemische Oxidation (bei chlorhaltigen Reagenzien ist hier Vorsicht geboten),
  - chemische Reduktion,
  - chemische Hydrolyse;
- Alternative 3: Behandlungstechniken, die einen erheblichen Energieverbrauch nach sich ziehen, wenn keine andere Möglichkeit besteht, die Toxizität oder Hemmwirkungen zu mindern, oder wenn der Prozess selbstunterhaltend möglich ist:
  - Nassoxidation (Niederdruck oder Hochdruck),
  - Abwasserverbrennung;
- Wenn die Wasserversorgung bzw. der Wasserverbrauch umweltrelevant ist, muss der Einsatz von Techniken, die große Mengen Kühlwasser oder Nasswäscher erfordern, für die Abluftbehandlung geprüft werden. Dies gilt beispielsweise für:
  - Extraktion,
  - Destillation / Rektifikation,
  - Eindampfung,
  - Strippung.

Biologisch abbaubares Abwasser kann in biologischen Systemen behandelt werden, und zwar entweder als Teilstrom in speziell zu diesem Zweck ausgelegten (Vor)Behandlungssystemen (z. B. anaerobe oder aerobe Hochlastverfahren) oder als Mischabwasser in einer zentralen biologischen Abwasserbehandlungsanlage oder in einer der zentralen Abwasserbehandlungsanlage nachgeschalteten Endbehandlung. Demzufolge ist es BVT, biologisch abbaubare Stoffe mit Hilfe eines geeigneten biologischen Behandlungssystems (oder einer geeigneten Kombination von Systemen) zu entfernen, wie:

- biologische Vorbehandlung, um die letzte Stufe der zentralen biologischen Abwasserbehandlungsanlage von biologisch leicht abbaubaren Schadstoffen zu entlasten (oder nachgeschaltete Behandlungsstufe). Geeignete Techniken sind:
  - anaerobes Kontaktverfahren,
  - anaerobes Schlammkontaktverfahren (UASB),
  - anaerobes und aerobes Festbettverfahren,
  - anaerobes Fließbettverfahren,
  - Belebungsverfahren mit vollständiger Vermischung,
  - Membranbioreaktor-Verfahren,
  - Tropfkörperverfahren,
  - Biofilter-Festbett-Verfahren;
- Nitrifikation / Denitrifikation, wenn das Abwasser eine relevante Stickstofffracht enthält
- zentrale biologische Behandlung unter Vermeidung eines Eintrags biologisch nicht abbaubarer Schadstoffe, soweit diese zu Störungen im Behandlungssystem führen können und die betreffende Anlage nicht zu deren Behandlung geeignet ist. In der Regel liegt der mit BVT verbundene Wert für den BSB nach der zentralen biologischen Behandlung bei unter 20 mg/l. Im Falle des Belebtschlammverfahrens wird üblicherweise in einer biologischen Reinigungsstufe mit einer täglichen CSB-Belastung ≤ 0,25 kg/kg Schlamm gearbeitet (Schwachlaststufe).

[2] Ein Mitgliedstaat besteht auf einer genaueren Definition des Kriteriums „relevanter nicht biologisch abbaubarer Anteil“. Eine abweichende Meinung wird aufgezeigt. Einzelheiten hierzu siehe Kapitel 4.

BVT-spezifische Werte für die Einleitung in einen Vorfluter[3]:		
Parameter [a]	**Leistung [%]**	**Emissions-werte [mg/l]** [b]
TSS		10-20 [c]
CSB	76-96 [d]	30–250
Gesamter anorganischer N [e]		5-25
Gesamt-P		0,5-1,5 [f]
AOX		

[a] BSB siehe vorstehenden Abschnitt über die zentrale biologische Behandlung
[b] Tagesmittelwert (Ausnahme TSS)
[c] Monatsmittelwert
[d] geringe Eliminationsraten bei geringen Schadstoffkonzentrationen
[e] Summe aus NH_4-N, NO_2-N und NO_3-N (eher zu empfehlen wäre der Parameter Gesamt-N. In Ermangelung von Informationen über den Gesamtstickstoff wird hier der gesamte anorganische Stickstoff zugrundegelegt)
[f] unterer Wert aus dem Nährstoffeintrag in biologische Kläranlagen; oberer Wert aus Produktionsprozessen

❑ Klärschlamm

Werden Klärschlämme direkt am Standort der chemischen Industrie behandelt, ist der Einsatz einer oder mehrerer der folgenden Verfahren (ohne Präferenz) BVT:

- Vorbehandlungsverfahren,
- Schlammeindickung,
- Schlammstabilisierung,
- Schlammkonditionierung,
- Schlammentwässerung,
- Schlammtrocknung,
- thermische Schlammoxidation,
- Deponie am Standort.

Die Schlammbehandlung außerhalb des Standorts wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da sie nicht Gegenstand des vorliegenden Dokuments ist. Dies bedeutet keinesfalls, dass eine Behandlung durch Subunternehmer außerhalb des Standorts nicht BVT wäre.

❑ Abgas

ABGASERFASSUNGSSYSTEME werden eingebaut, um gasförmige Emissionen den entsprechenden Behandlungsanlagen zuzuleiten. Sie bestehen aus der Kapselung der Emissionsquelle, Absaugvorrichtungen und Rohren. BVT ist:

- den Gasstrom zur Behandlungsanlage durch größtmögliche Kapselung der Emissionsquellen zu minimieren;
- Explosionsrisiken zu vermeiden durch:
  - den Einbau eines Entflammbarkeitsdetektors innerhalb des Erfassungssystems, wenn die Gefahr eines Auftretens zündfähiger Gemische groß ist;
  - Sicherstellen, dass die Konzentration des Gasgemisches stets unterhalb der unteren bzw. oberhalb der oberen Explosionsgrenze liegt;
- eine geeignete Einrichtung einzubauen, um die Zündung leicht entflammbarer Gas-Sauerstoff-Gemische zu vermeiden bzw. um deren Auswirkungen zu minimieren.

[3] Ein Mitgliedstaat besteht darauf, auch BVT-Emissionswerte für AOX und Schwermetalle an der Einleitungsstelle einzubeziehen. Eine abweichende Meinung wird aufgezeigt. Einzelheiten über den Stand der Diskussion finden sich in Kapitel.

Bei den Abgasquellen wird in diesem Dokument unterschieden zwischen:

- Emissionsquellen niedriger Temperatur, wie Produktionsprozesse, Umgang mit Chemikalien, Produktaufarbeitung,
- Emissionsquellen hoher Temperatur, wie Verbrennungsprozesse, einschließlich Einrichtungen wie Kesselanlagen, Kraftwerke, Prozessbrenner sowie thermische und katalytische Oxidationsreaktoren.

Emissionsquellen niedriger Temperatur

Die Schadstoffe, die in den Abgasen aus Niedrigtemperatur-Quellen (Prozessgase) behandelt werden müssen, sind Staub / Schwebstoffe, flüchtige organische Verbindungen (VOC) und anorganische Verbindungen (HCl, SO_2, NO_x usw.).

Es ist BVT, **Staub / Schwebstoffe** aus den Abgasströmen zu entfernen, entweder in einer Endbehandlung oder einer Vorbehandlung, um nachgeschaltete Einrichtungen zu schützen. Dabei sollten die Stoffe soweit wie möglich zurückgewonnen werden. Dem Energie- und Wasserverbrauch der Behandlungsverfahren muss Beachtung geschenkt werden. Geeignete Behandlungstechniken sind:

- Vorbehandlungsverfahren mit potenzieller Rückgewinnung:
  - Abscheider,
  - Zyklon,
  - Nebelabscheider (auch als Aerosol- und Tröpfchenabscheider);
- Endbehandlungsverfahren:
  - Nasswäscher,
  - elektrostatischer Abscheider,
  - Gewebefilter,
  - verschiedene Hochleistungsfilter (in Abhängigkeit von der Art des Staubs/Schwebstoffs).

Es ist BVT, **flüchtige organische Verbindungen (VOC)** aus den Abgasströmen zu entfernen. Das anzuwendende Verfahren hängt in hohem Maße von dem Prozess ab, aus dem die VOC freigesetzt werden, sowie von den Umweltrisiken, die von ihnen ausgehen.

- Alternative 1: Techniken zur Rückgewinnung von Rohstoffen und/oder Lösungsmitteln; diese werden häufig als Vorbehandlung eingesetzt, um den größten Teil flüchtiger organischer Verbindungen zurückzugewinnen, bevor sie in nachgeschaltete Abgasreinigungsanlagen gelangen, oder als Sicherheitsaspekt zum Schutz nachgeschalteter Einrichtungen. Geeignete Techniken sind:
  - Nasswäsche,
  - Kondensation,
  - Membranabscheidung,
  - Adsorption;

  oder eine Kombinationen derselben:
  - Kondensation / Adsorption,
  - Membranabscheidung / Kondensation.
- Alternative 2: Behandlungsverfahren, wenn eine Rückgewinnung nicht möglich ist; dabei ist Verfahren mit niedrigem Energieverbrauch der Vorzug zu geben.
- Alternative 3: Verbrennungsverfahren (thermische oder katalytische Oxidation), wenn andere, gleichermaßen wirksame Techniken nicht verfügbar sind.

Bei den Verbrennungsverfahren ist es BVT, eine Abgasbehandlungsanlage einzurichten, wenn im Abgas erhebliche Mengen an Schadstoffen zu erwarten sind.

Es ist ferner BVT, nur dann auf das Abfackeln zurückzugreifen, wenn überschüssige brennbare Gase (wie sie beispielsweise durch Wartungsarbeiten oder Systemstörungen bzw. an nicht an ein Behandlungssystem angeschlossenen weit abgelegenen Absaugvorrichtungen entstehen können) sicher beseitigt werden müssen.

Bei **anderen Verbindungen als VOC** ist es BVT, diese Schadstoffe durch den Einsatz geeigneter Verfahren zu entfernen:

- Nasswäsche (Wasser, saure oder alkalische Lösungen) bei Halogenwasserstoffen, Cl_2, SO_2, H_2S, NH_3,
- Wäsche mit nichtwässrigen Lösungsmitteln bei CS_2, COS,
- Adsorption für CS_2, COS, Hg,
- biologische Gasbehandlung bei NH_3, H_2S, CS_2,
- Verbrennung bei H_2S, CS_2, COS, HCN, CO,
- selektive nicht katalytische Reduktion (SNCR) oder selektive katalytische Reduktion (SCR) bei NO_x.

Sofern realisierbar, sind Rückgewinnungstechniken den Reinigungstechniken vorzuziehen, z. B.:

- die Rückgewinnung von Chlorwasserstoff bei der Verwendung von Wasser als Waschmedium in der ersten Reinigungsstufe, um eine Salzsäurelösung zu erhalten;
- Rückgewinnung von NH_3.

Die TWG war nicht in der Lage, Schlussfolgerungen bezüglich der mit BVT verbundenen Emissionswerten für Abgase aus Produktionsprozessen zu ziehen, die für die gesamte chemische Industrie Gültigkeit hätten. Die mit BVT verbundenen Emissionswerte für Prozessgase sind in hohem Maße von dem jeweiligen Verfahren abhängig. Daher wurde empfohlen, dieses Thema in den Referenzdokumenten zu den jeweiligen Verfahren zu behandeln.

Emissionsquellen hoher Temperatur

Die Schadstoffe, die in den Abgasen aus Hochtemperatur-Quellen (Verbrennungsgase) behandelt werden müssen, sind Staub (Schwebstoffe), Halogenverbindungen, Kohlenmonoxid, Schwefeloxide, NO_x und unter Umständen Dioxine.

Es ist BVT, **Staub / Schwebstoffe** zu entfernen durch den Einsatz von:

- elektrostatischen Abscheidern,
- Gewebefiltern (hinter dem Wärmetauscher bei 120-150°C),
- katalytischen Filtern (unter vergleichbaren Bedingungen wie Gewebefilter),
- Nasswäschern.

Es ist BVT, **HCl, HF und SO_2** durch eine zweistufige Nasswäsche zurückzugewinnen oder sie durch trockene, halbtrockene oder nasse Sorptionsmitteleinspritzung zu entfernen. Allerdings hat sich die Nasswäsche in der Regel als das wirksamste Verfahren erwiesen, und zwar sowohl im Hinblick auf die Minderung als auch auf die Rückgewinnung.

Bei **NO_x**, ist es BVT, aufgrund seiner besseren Reinigungswirkung und Umweltleistung (zumindest bei größeren Anlagen) das SCR-Verfahren anstelle des SCNR-Verfahrens einzusetzen. Bei bestehenden Anlagen, in denen das SNCR-Verfahren angewandt wird, könnte eine Umstellung im Zuge größerer Änderungen an der Verbrennungsanlage erfolgen. Auch wenn das SCR-Verfahren als BVT im allgemeinen Sinne betrachtet wird, ist das SNCR-Verfahren in Einzelfällen die technisch und wirtschaftlich bessere Lösung (dies gilt insbesondere für kleinere Anlagen). Andere Maßnahmen sind vor dem Hintergrund der Frage zu bewerten, ob mit ihnen insgesamt größere Verbesserungen erzielt werden können als durch eine Nachrüstung der SNCR-Technik.

BVT-spezifische Emissionswerte für die Behandlung von Verbrennungsgasen	
Parameter	**Emissionswerte [mg/Nm^3] [1]**
Staub	<5-15
HCl	<10
HF	<1
SO_2	<40-150 [2]
NO_x (Gaskessel / -feuerungen)	20-150 [3]
NO_x (Flüssigbrennstoffkessel / -feuerungen)	55-300 [3]
NH_3 [4]	<5 [5]
Dioxine	0,1 ng/Nm^3 TEQ

[1] ½-stündiger Durchschnitt, Referenz-Sauerstoffgehalt 3 %
[2] unterer Bereich für gasförmige Brennstoffe; oberer Bereich für flüssige Brennstoffe
[3] höherer Wert für kleine Anlagen mit SNCR-Technik
[4] NH_3-Schlupf bei Einsatz von SCR
[5] Wert für neue Katalysatoren; mit zunehmenden Alter der Katalysatoren werden höhere NH_3-Emissionen verzeichnet

ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN UND EMPFEHLUNGEN (KAPITEL 6)

Im Anschluss an die zweite Sitzung der TWG vertrat ein Mitgliedstaat in vier Punkten abweichende Meinungen.

1. Es wurde die Meinung vertreten, dass die Aussagen hinsichtlich der BVT für das Abwasser- und Abgasmanagement teilweise zu allgemein gefasst sind; sie verwiesen auf Beispiele für Ströme mit höheren Konzentrationen und Frachten (wie in Abschnitt 2.2.2.3.1 dargelegt).
2. Es wurde die Meinung vertreten, das Kriterium „relevanter nicht biologisch abbaubarer Anteil“ müsse genauer definiert werden, indem für die Abwasserströme eine Reihe indikativer Werte für den schwer abbaubaren TOC angegeben werden.
3. Man besteht darauf, auf der Grundlage der in Anhang 7.6.4 angeführten Beispiele BVT-spezifische Werte für Schwermetalle anzugeben. Nach Darstellung des Mitgliedstaates können — wenn, wie oben dargelegt, eine Strategie der Vermeidung, Vorbehandlung und zentralen Behandlung verfolgt wird (siehe den Abschnitt „Schwermetalle“) — mit BVT verbundene Werte für Schwermetalle angegeben werden, die für viele Chemie-Standorte gültig sind. Ferner wird erklärt, dass die Werte durch den Anteil der für Schwermetalle relevanten Produktionsvorgänge beeinflusst werden und somit vom Produktionsmix abhängig sind, was in bestimmten Fällen (insbesondere in der Feinchemikalienherstellung) höhere Werte zur Folge haben kann. Bei Einleitungen in kommunale Kanalisationsnetze müsse die Wirkung der kommunalen Kläranlagen berücksichtigt werden, soweit sichergestellt ist, dass die Schwermetalle nicht in andere Umweltmedien verlagert werden.
   Die TWG hat dieser Forderung nicht entsprochen mit der Begründung, dass es nicht sinnvoll wäre, mit BVT verbundene Emissionswerte zu definieren, die durch spezifische Zusammensetzungen von Abwasserströmen in einzelnen Produktionsstätten beeinflusst sind. Dies würde zu Werten führen, von denen man nicht sagen könne, ob sie in der Realität Gültigkeit haben oder nicht. Aus diesem Grunde wird eine abweichende Meinung festgehalten.

4. Die Vertreter des betreffenden Mitgliedstaates bestehen darauf, auf der Grundlage der in Anhang 7.6.2 angeführten Beispiele BVT-spezifische Werte für AOX zu benennen. Sie erklären, dass die mit BVT verbundenen Werte festgelegt werden können — obwohl die AOX-Emissionswerte in hohem Maße durch den Anteil bzw. durch die Art der chlororganischen Substanzen an dem jeweiligen Chemie-Standort beeinflusst werden —, wenn die Abwasserbehandlung entsprechend der oben genannten BVT erfolgt (siehe den Abschnitt „Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen“).
   Die TWG hat diesem Wunsch nicht entsprochen. Bei den angeführten Beispielen (siehe Anhang 7.6.2) handele es sich um verschiedene statistische Datensätze, die eine Festlegung von BVT-spezifischen Werten nicht zuließen. Es wurde sogar darauf hingewiesen, dass einer der als Beispiel angeführten niedrigsten AOX-Emissionswerte von einem Standort mit geringer Umweltleistung stammte, während der höchste Emissionswert von einem Standort mit einer sehr guten Umweltleistung gemeldet wurde. Unter diesen Bedingungen hielt die TWG es nicht für angemessen, mit BVT verbundene Emissionswerte für AOX anzugeben. Aus diesem Grunde wird eine abweichende Meinung festgehalten.

Der Informationsaustausch selbst war bei Weitem nicht vollständig. Dies ist — in Anbetracht der früheren Anstrengungen und Leistungen der chemischen Industrie im Bereich Abwasser- und Abgasmanagement — nur schwer nachzuvollziehen. Auch der Informationsaustausch mit einer Reihe von Mitgliedstaaten hat sich als gleichermaßen schwierig erwiesen.

Mit Blick auf eine spätere Neufassung des Referenzdokuments wird empfohlen, die bestehenden Lücken zu schließen. Allerdings sollte diese Neufassung erst dann erfolgen, wenn alle vertikalen BVT-Merkblätter für den Chemie-Sektor fertiggestellt sind. Wenn eine solche Neufassung jedoch sinnvoll sein soll, ist eine verstärkte Konzentration auf die Informationen erforderlich, die für die Genehmigungsbehörden nützlich sind. Weitere Einzelheiten hierzu finden sich in Kapitel 6.

Die Europäische Gemeinschaft initiiert und fördert durch ihre FTE-Programme eine Reihe von Vorhaben, die saubere Technologien, neue Abwasseraufbereitungstechniken und Managementstrategien betreffen. Diese Vorhaben können potentiell einen wichtigen Beitrag zu künftigen Überarbeitungen des BVT-Merkblatts leisten. Die Leser werden daher gebeten, das Europäische Büro für integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung EIPPCB über etwaige Forschungsergebnisse zu unterrichten, die im Hinblick auf dieses Dokument relevant sind (s.a. Vorwort).

VORWORT

1. Status des Dokuments

Sofern nichts anderes angegeben ist, 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. Die Richtlinie gilt unbeschadet gemeinschaftsrechtlicher Vorschriften zu Gesundheitsschutz und Sicherheit am Arbeitsplatz; dies trifft daher auch auf dieses Dokument zu.

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. Rechtliche Pflichten aufgrund der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung 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 der Begriff „beste verfügbare Techniken“ definiert. Diese Beschreibung muss zwangsläufig unvollständig sein und dient ausschließlich der Information. Sie hat keine rechtlichen Konsequenzen und ändert oder präjudiziert in keiner Weise die geltenden Bestimmungen der Richtlinie.

Ziel der Richtlinie ist die integrierte 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 Aufsichtsbehörden einen integrierten, ganzheitlichen Ansatz bei der Bewertung des Umweltverschmutzungs- und Verbrauchspotenzials 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 der in Artikel 3 vorgegebene Grundsatz, dass die Betreiber alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen treffen sollten, 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 es Artikel 16 Absatz 2 vorschreibt, sowohl die Mitgliedstaaten als auch die Industrie vertreten.

In dieser Reihe von Dokumenten sollen der nach Artikel 16 Absatz 2 vorgeschriebene Informationsaustausch genau wiedergegeben und so der Genehmigungsbehörde Referenz-Informationen zur Verfügung gestellt werden, die sie bei der Festlegung der Genehmigungsauflagen berücksichtigt. Diese einschlägigen Informationen über die besten verfügbaren Techniken machen diese Dokumente zu wertvollen Instrumenten zur Verbesserung des Umweltschutzes.

4. Informationsquellen

Dieses Dokument ist eine Zusammenfassung von Informationen aus verschiedenen Quellen, unter anderem der sachkundigen Angaben der zur Unterstützung der Kommission eingerichteten Arbeitsgruppen, die von den Dienststellen 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 enthält eine allgemeine Beschreibung des Bereichs Abwasser und Abgas sowie allgemeine Informationen über Management- und Behandlungssysteme.

Kapitel 2 erläutert, was unter Umwelt- und Abwassermanagement zu verstehen ist, und beschreibt die Instrumente für ihre Umsetzung.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über die Abwasser- und Abgasbehandlungsverfahren, die im Chemie-Sektor üblicherweise eingesetzt werden. Dabei wird zwischen Verfahren zur Rückgewinnung und Beseitigungsverfahren unterschieden. Die Kapitel 2 und 3 bilden den Kern dieses Referenzdokuments und liefern die Informationen, die den in Kapitel 4 aufgeführten Schlussfolgerungen bezüglich der besten verfügbaren Techniken zugrunde liegen.

In Kapitel 4 werden die Verfahren und Emissionswerte genannt, die im Allgemeinen den besten verfügbaren Techniken entsprechen. In dem Bemühen, für spezifische Situationen das geeignetste Behandlungsverfahren zu ermitteln, erstreckt sich der Begriff „Techniken“ im Rahmen dieses horizontalen Dokuments nicht nur auf die Technologie an sich, sondern vielmehr auch auf Managementstrategien. Dabei geht es darum, allgemeine Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten bereitzustellen, die bei der Festlegung der 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 Kapitel 4 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 gegebenenfalls überprüft und aktualisiert. Stellungnahmen und Vorschläge sind an das Europäische IPPC-Büro beim Institute for Prospective Technological Studies mit folgender Anschrift zu senden:

Edificio Expo, Inca Garcilaso 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

Reference Document on Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector

EXECUTIVE SUMMARY……I

PREFACE……XVII

SCOPE……..XXVII

1 GENERAL DESCRIPTION……1

1.1 Waste Water and Waste Gas in the Chemical Industry……1

1.1.1 Waste Water……1

1.1.2 Waste Gas……3

1.2 Environmental Management with Regard to Waste Water and Waste Gas……..4

1.3 Treatment Technology……..6

1.3.1 Process-Integrated Measures……7

1.3.2 End-of-Pipe Techniques……...8

1.3.2.1 Waste Water Treatment……...8

1.3.2.2 Waste Gas Treatment……10

1.4 Environmental Impact of Waste Water and Waste Gas Treatment and their Interdependencies……..12

2 WASTE WATER/WASTE GAS MANAGEMENT ……15

2.1 Environmental Management System (EMS)……..15

2.2 Management Tools……19

2.2.1 Inventory Management Tools……19

2.2.1.1 Site Inventory……19

2.2.1.2 Stream Inventory or Register……20

2.2.1.2.1 Whole Effluent Assessment (WEA).21

2.2.1.2.2 Reduction of Water Usage and Waste Water Discharge……...25

2.2.1.2.3 Waste Gas Emission Quantification.26

2.2.1.3 Energy and Material Flow Analysis (EMFA)……28

2.2.2 Operational Management Tools……29

2.2.2.1 Monitoring……29

2.2.2.2 Setting and Regular Review of Internal Targets or Programmes……29

2.2.2.3 Choice of Treatment Options……31

2.2.2.3.1 Selection of Waste Water Control System……...32

2.2.2.3.2 Selection of Waste Gas Control System……...36

2.2.2.4 Choice of Collection System……..38

2.2.2.4.1 Selection of Waste Water Collection and Segregation System……38

2.2.2.4.2 Choice of Waste Gas Collection Systems……39

2.2.2.5 Implementation of the Selected Emission Control Options……39

2.2.2.6 Quality Control Methods……40

2.2.3 Strategic Management Tools……..43

BVT-Referenzdokument Abwasser- / Abgasbehandlung und –management in der chemischen Industrie

ZUSAMMENFASSUNG……I

VORWORT……XVII

ANWENDUNGSBEREICH……..XXIX

1 ALLGEMEINE ASPEKTE……..1

1.1 Abwasser und Abgas in der Chemischen Industrie..1

1.1.1 Abwasser……...……..1

1.1.2 Abgas……3

1.2 Umwelt-Management im Hinblick auf Abwasser und Abgas……...……4

1.3 Behandlungsverfahren……..……..6

1.3.1 Prozessintegrierte Maßnahmen……7

1.3.2 End-of-pipe-Techniken……..8

1.3.2.1 Abwasserbehandlung……..……...8

1.3.2.2 Abgas-Behandlung……..…10

1.4 Umweltauswirkungen von Abwasser- und Abgasbehandlung und ihre Wechselwirkungen……12

2 ABWASSER- UND ABGASMANAGEMENT….15

2.1 Umweltmanagementsystem (UMS)……15

2.2 Managementinstrumente……..……19

2.2.1 Managementinstrumente für die Bestandsaufnahme……..……19

2.2.1.1 Bestandsaufnahme für einen Standort……..19

2.2.1.2 Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgasströme (Kataster)……..……20

2.2.1.2.1 Gesamtabwasserbewertung (WEA)……..21

2.2.1.2.2 Reduktion des Wasserverbrauchs und der Abwassereinleitung……...……25

2.2.1.2.3 Quantifizierung der Abgasemissionen……26

2.2.1.3 Energie- und Stoffflussanalyse (EMFA)……28

2.2.2 Betriebliche Managementinstrumente…...29

2.2.2.1 Überwachung……...……29

2.2.2.2 Festsetzung und regelmäßige Überprüfung interner Zielsetzungen und Programme..29

2.2.2.3 Wahl der Behandlungsmöglichkeiten31

2.2.2.3.1 Wahl des Abwasserbehandlungssystems……...……..32

2.2.2.3.2 Wahl des Abgasbehandlungssystems……..……...36

2.2.2.4 Wahl des Erfassungssystems……..38

2.2.2.4.1 Wahl des Abwassersammel- und Abwassertrennsystems……..……..38

2.2.2.4.2 Wahl des Abgaserfassungssystems39

2.2.2.5 Ausführung der gewählten Maßnahmen zur Emissionsminderung……..……..……..40

2.2.2.6 Qualitätssicherungsverfahren….……40

2.2.3 Strategische Managementinstrumente…...43

2.2.3.1 Risk Assessment……43
2.2.3.2 Benchmarking……44
2.2.3.3 Life Cycle Assessment (LCA)……44
2.2.4 Safety and Emergency Tools……..45
2.2.4.1 Managing Fire-fighting Water and Major Spillages……45
2.2.4.2 Pollution Incident Response Planning...47

3 APPLIED TREATMENT TECHNOLOGY…….49

3.1 Information Presented in this Chapter……49
3.2 Information on Costs in this Horizontal Document ……...50
3.2.1 Total Installed Costs vs Supplier Equipment Costs……..50
3.2.2 Greenfield Costs vs Retrofitting Costs……...51
3.2.3 Capital Costs vs Operating Costs……...52
3.2.4 Initial Emission Control Costs vs Incremental Control Costs……53
3.3 Waste Water Treatment Techniques……..53
3.3.1 Process-Integrated Measures……..53
3.3.1.1 Counter-current Extraction as an Example of Water-saving Processes……53
3.3.1.2 Multiple Use and Recirculation Operations……53
3.3.1.3 Indirect Cooling with Vapour Phases…54
3.3.1.4 Waste Water-free Processes for Vacuum Generation……54
3.3.1.5 Waste Water-free Processes for Exhaust Air Cleaning……55
3.3.1.6 Substance Recovery or Retention from Mother Liquors or by Optimised Processes……..55
3.3.1.7 Use of Low-contaminated Raw Materials and Auxiliaries……..56
3.3.2 Flow Balancing……...56
3.3.3 Storage or Retention Capacity for Failure Events……57
3.3.4 End-of-Pipe Techniques……59
3.3.4.1 Insoluble Contaminants / Mechanical Separation……62
3.3.4.1.1 Grit Separation of Solids……..62
3.3.4.1.2 Sedimentation of Solids……64
3.3.4.1.3 Air Flotation……68
3.3.4.1.4 Filtration……...73
3.3.4.1.5 Microfiltration and Ultrafiltration…77
3.3.4.1.6 Oil-Water Separation……80
3.3.4.2 Soluble Non-biodegradable or Inhibitory Contaminants / Physico-Chemical Treatment…..84
3.3.4.2.1 Precipitation……84
3.3.4.2.2 Crystallisation……..87
3.3.4.2.3 Chemical Oxidation……90
3.3.4.2.4 Wet Air Oxidation……94
3.3.4.2.5 Supercritical Water Oxidation (SCWO)……98

2.2.3.1 Risikobewertung……..……43
2.2.3.2 Benchmarking……..……44
2.2.3.3 Lebenszyklusanalyse (LCA)……...44
2.2.4 Sicherheits- und Notfallinstrumente……...45
2.2.4.1 Management von Löschwasser und von bedeutenden unbeabsichtigten Freisetzungen..45
2.2.4.2 Umweltschadensfall-Abwehrplan…...47

3 ANGEWANDTE BEHANDLUNGSTECHNOLOGIE……49
3.1 In diesem Kapitel enthaltene Information……..49
3.2 Informationen zu den Kosten in diesem Horizontaldokument……..……..50
3.2.1 Gegenüberstellung der Gesamtkosten zu den Kosten für die gelieferten Anlagen/Einrichtungen……50
3.2.2 Kosten für neue Anlagen "auf der grünen Wiese" im Vergleich zu den Kosten für die Nachrüstung bestehender Anlagen……..……51
3.2.3 Gegenüberstellung von Kapital- und Betriebskosten……..……52
3.2.4 Gestehungskosten für erste Anlagen zur Emissionsminderung im Vergleich zu zusätzlichen Kosten bei bestehenden Anlagen……..……..53
3.3 Abwasserbehandlungstechniken……53
3.3.1 Prozessintegrierte Maßnahmen……..53
3.3.1.1 Gegenstromextraktion als Beispiel für wassersparende Verfahren……..……53
3.3.1.2 Mehrfachverwendung und Recyclingverfahren…...……..……54
3.3.1.3 Indirekte Kühlung von Dämpfen……..54
3.3.1.4 Abwasserfreie Verfahren der Vakuumerzeugung……...……..55
3.3.1.5 Abwasserfreie Verfahren der Abgasreinigung……...……...55
3.3.1.6 Rückgewinnung von Stoffen aus aufgefangenen Mutterlaugen oder durch optimierte Prozesse……..……..55
3.3.1.7 Einsatz von Rohstoffen und Hilfsmitteln mit niedrigen Schadstoffgehalten……56
3.3.2 Mengenausgleich……..……56
3.3.3 Speicher- oder Rückhaltekapazität für Betriebsstörungen……..……...57
3.3.4 End-of-Pipe Techniken……..……..59
3.3.4.1 Unlösliche Verunreinigungen / Mechanische Abtrennung……..……62
3.3.4.1.1 Abtrennung von Feststoffen in Sandfängen……..62
3.3.4.1.2 Sedimentation von Feststoffen…...64
3.3.4.1.3 Entspannungsflotation……...……68
3.3.4.1.4 Filtration……..73
3.3.4.1.5 Mikrofiltration und Ultrafiltration……77
3.3.4.1.6 Öl/Wasser-Trennung……..……80
3.3.4.2 Lösliche, biologisch nicht abbaubare oder hemmende Verunreinigungen / Physikalisch-chemische Behandlung……..…...84
3.3.4.2.1 Fällung……..……..84
3.3.4.2.2 Kristallisation……..……...87
3.3.4.2.3 Chemische Oxidation……..…...90
3.3.4.2.4 Nassoxidation……...……...94
3.3.4.2.5 Oxidation mit überkritischem Wasser (SCWO)……..……98

3.3.4.2.6 Chemical Reduction……..101
3.3.4.2.7 Chemical Hydrolysis……..103
3.3.4.2.8 Nanofiltration (NF) and Reverse Osmosis (RO)……..105
3.3.4.2.9 Adsorption……..110
3.3.4.2.10 Ion Exchange……116
3.3.4.2.11 Extraction……118
3.3.4.2.12 Distillation / Rectification……120
3.3.4.2.13 Evaporation……..122
3.3.4.2.14 Stripping……...124
3.3.4.2.15 Waste Water Incineration…….128
3.3.4.3 Soluble Biodegradable Contaminants / Biological Treatment……..130
3.3.4.3.1 Anaerobic Treatment……..131
3.3.4.3.2 Biological Removal of Sulphur Compounds / Heavy Metals……135
3.3.4.3.3 Aerobic Treatment……..138
3.3.4.3.4 Biological Nitrogen Elimination…146
3.3.4.3.5 Central Biological Waste Water Treatment……149
3.3.4.4 Rain and Fire-fighting Water Control.154
3.3.4.4.1 Retention Ponds……..155
3.3.4.4.2 Sand Filters……156
3.4 Sludge Treatment Techniques……..157
3.4.1 Sludge Thickening and Dewatering…….159
3.4.2 Stabilisation and Conditioning……164
3.4.3 Thermal Sludge Reduction……...166
3.5 Waste Gas End-of-pipe Treatment Techniques…171
3.5.1 Recovery Techniques for VOC and Inorganic Compounds……..173
3.5.1.1 Membrane Separation……..173
3.5.1.2 Condensation……177
3.5.1.3 Adsorption……184
3.5.1.4 Wet Scrubbers for Gas Removal……..190
3.5.2 Abatement Operations and Processes for VOCs and Inorganic Compounds……..200
3.5.2.1 Biofiltration……..200
3.5.2.2 Bioscrubbing……204
3.5.2.3 Biotrickling……..205
3.5.2.4 Thermal Oxidation……...212
3.5.2.5 Catalytic Oxidation……..218
3.5.2.6 Flaring……..223
3.5.3 Recovery and Abatement Techniques for Particulates……..230
3.5.3.1 Separator……..230
3.5.3.2 Cyclone……231
3.5.3.3 Electrostatic Precipitator (ESP)……...235
3.5.3.4 Wet Dust Scrubber……...240
3.5.3.5 Fabric Filter……..246
3.5.3.6 Catalytic Filtration……...250
3.5.3.7 Two-Stage Dust Filter……..253
3.5.3.8 Absolute Filter (HEPA-Filter)……..256
3.5.3.9 High Efficiency Air Filter (HEAF)…..258
3.5.3.10 Mist Filter……259
3.5.4 Recovery and Abatement Techniques for Gaseous Pollutants in Exhaust Gases……..261
3.5.4.1 Sorbent Injection as FGD Techniques.262
3.5.4.2 Selective Reduction of NO_x (SNCR and SCR)……268

3.3.4.2.6 Chemische Reduktion……..……101
3.3.4.2.7 Hydrolyse……..……103
3.3.4.2.8 Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (UO)……...105
3.3.4.2.9 Adsorption……...……..110
3.3.4.2.10 Ionenaustausch……...……..116
3.3.4.2.11 Extraktion……..……..118
3.3.4.2.12 Destillation / Rektifikation 120
3.3.4.2.13 Eindampfung……...……122
3.3.4.2.14 Strippung……...……...124
3.3.4.2.15 Abwasserverbrennung…..……...128
3.3.4.3 Lösliche, biologisch abbaubare Verunreinigungen / Biologische Behandlung……130
3.3.4.3.1 Anaerobe Behandlung……..…131
3.3.4.3.2 Biologische Elimination von Schwefelverbindungen/ Schwermetallen……..135
3.3.4.3.3 Aerobe Behandlung…..……138
3.3.4.3.4 Biologische Stickstoffelimination146
3.3.4.3.5 Zentrale Biologische Abwasserbehandlung……..……151
3.3.4.4 Regenwasser- und Löschwasserbehandlung……154
3.3.4.4.1 Rückhaltebecken……155
3.3.4.4.2 Sandfilter……..……156
3.4 Schlammbehandlungstechniken……...157
3.4.1 Schlammeindickung und Entwässerung...159
3.4.2 Stabilisierung und Konditionierung……164
3.4.3 Thermische Schlammbehandlung……166
3.5 Abgas-End-of-pipe-Behandlungsverfahren…..171
3.5.1 Rückgewinnungsverfahren für VOC und Anorganische Verbindungen……..173
3.5.1.1 Membranabscheidung……..173
3.5.1.2 Kondensation……..……...177
3.5.1.3 Adsorption……...……184
3.5.1.4 Nasswäscher zur Gasentfernung…..190
3.5.2 Behandlungsoperationen und Verfahren für VOC und anorganische Verbindungen……...200
3.5.2.1 Biofiltration…..……..200
3.5.2.2 Biowäsche……204
3.5.2.3 Rieselbettverfahren…..……..208
3.5.2.4 Thermische Oxidation……..……212
3.5.2.5 Katalytische Oxidation…..……218
3.5.2.6 Fackeln……..……223
3.5.3 Rückgewinnungs- und Behandlungstechniken für Partikel……...……..230
3.5.3.1 Abscheider……..……230
3.5.3.2 Zyklon……...……..231
3.5.3.3 Elektrostatischer Abscheider – ESP (Elektrofilter)……..……...235
3.5.3.4 Nassentstauber…..……240
3.5.3.5 Gewebefilter…..……246
3.5.3.6 Katalytische Filtration……..……..250
3.5.3.7 Zweistufiger Staubfilter…..……253
3.5.3.8 Absolutfilter (HEPA-Filter)……256
3.5.3.9 Hochleistungsfilter (HEAF)…..……258
3.5.3.10 Nebelabscheider…..……...259
3.5.4 Rückgewinnungs- und Behandlungstechniken für gasförmige Schadstoffe in Abgasen……261
3.5.4.1 Absorptionsmitteleinspritzung als REA-Techniken (FGD)……..……262
3.5.4.2 Selektive Reduktion von NO_x (SNCR und SCR)……..……..……268

4 BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR WASTE WATER / WASTE GAS TREATMENT / MANAGEMENT IN THE CHEMICAL SECTOR ……271
4.1 Introduction……...271
4.2 General BAT…….273
4.3 Specific BAT…….276
4.3.1 Waste Water Section.……276
4.3.2 Waste Gas Section.……295

5 EMERGING TECHNIQUES……...305

6 CONCLUDING REMARKS……307

REFERENCES……...311

7 ANNEXES……..321
7.1 Annex I. Joint Operation of Industrial and Municipal WWTP……321
7.2 Annex II. Example of EFMA: Pinch Technology322
7.3 Annex III. Monitoring of a Central Biological WWTP……327
7.4 Annex IV. Monitoring Standards…….328
7.5 Annex V. Pollution Incident Response Plan……332
7.6 Annex VI. Examples of Waste Water and Waste Gas Treatment…….333
7.6.1 Technical Information on Waste Water Treatment Plants (Examples)……..333
7.6.2 Information on Waste Water Discharges (Examples)……..338
7.6.3 Information on Complete-Site Waste Water Treatment Systems (Examples)……...341
7.6.4 Examples of Heavy Metal Discharges.……..345
7.6.5 Examples of Waste Gas Treatment Plants...348
7.7 Annex VII. Member States' Legislation on Waste Water and Waste Gas in the Chemical Sector…350

GLOSSARY OF TERMS AND ABBREVIATIONS..435

4 BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN FÜR DIE ABWASSER- UND ABGASBEHANDLUNG / DAS MANAGEMENT IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE……...271
4.1 Einführung……...……271
4.2 Allgemeine BVT……..……...273
4.3 Spezielle BVT……...……...276
4.3.1 Abwasserteil……..……276
4.3.2 Abgas……295

5 IN DER ENTWICKLUNG BEFINDLICHE TECHNIKEN…….305

6 ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN……307

LITERATUR…….……...311

7 ANHÄNGE……::……..……..321
7.1 Anhang I. Gemeinsamer Betrieb von industrieller und kommunaler AWBA……321
7.2 Anhang II. Beispiel für EFMA: Pinch Technik...322
7.3 Anhang III. Überwachung einer zentralen biologischen AWBA……..……327
7.4 Anhang IV. Überwachungsstandards …..…….328
7.5 Anhang V. Umweltschadensfall-Abwehrplan...…332
7.6 Anhang VI. Beispiele für Abwasser- und Abgasbehandlung..…….333
7.6.1 Technische Informationen zu Abwasserbehandlungsanlagen (Beispiele)…..……..333
7.6.2 Information zu Abwassereinleitungen (Beispiele)……..……..338
7.6.3 Informationen zu Abwasserbehandlungssystemen für den Gesamtstandort (Beispiele)……..…..341
7.6.4 Beispiele für Schwermetalleinträge……..345
7.6.5 Beispiele für Abgasbehandlungsanlagen.....348
7.7 Anhang VII. Gesetzgebung der Mitgliedsstaaten zu Abwasser und Abgas in der chemischen Industrie.…350

GLOSSAR DER BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN…….435

Abbildungen

Abbildung I: Grenze zwischen produktionszugehörig und behandlungszugehörig bzw. zwischen vertikalem und horizontalem BREF xxx
Abbildung 1.1: Abwasser Behandlungstechniken 6
Abbildung 1.2: Abgas Behandlungstechniken 6
Abbildung 2.1: Der Kreislauf des Umweltmanagementsystems (UMS) 16
Abbildung 2.2: Strategie für das standortbezogene UMS 17
Abbildung 2.3: Komplexizität eines standortbezogenen UMS 18
Abbildung 2.4: Grundsätzliches Vorgehen zur Verminderung des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls 26
Abbildung 2.5: Entscheidungsbaum für geeignete Abwasserbehandlungssysteme 33
Abbildung 2.6: Ursache-Wirkungs-Diagramm einer schlechten Abwasserqualität 42
Abbildung 3.1: Wechselweise befüllte Pufferbehälter zur Aufnahme des gesamten Abwassers 58
Abbildung 3.2: In Reihe geschalteter Pufferbehälter, der diskontinuierlich befüllt wird 58
Abbildung 3.3: In Reihe geschalteter Pufferbehälter, der kontinuierlich befüllt wird 59
Abbildung 3.4: Puffersystem für Leckagen 59
Abbildung 3.5: Auswahl von Abwasserbehandlungstechniken in Abhängigkeit von der Art der Verunreinigungen 60
Abbildung 3.6: Langsandfang 62
Abbildung 3.7: Rundsandfang 62
Abbildung 3.8: Belüfteter Sandfang 63
Abbildung 3.9: Sedimentations- oder Absetzbecken 65
Abbildung 3.10: Trichterbecken, vertikal durchströmt 65
Abbildung 3.11: Lamellen- oder Schrägklärer 66
Abbildung 3.12: DAF-System: 69
Abbildung 3.13: Vergleich der Trennleistung von DAF und Sedimentation 70
Abbildung 3.14: Konventioneller abwärts durchströmter Mehrschichten-Sandfilter 74
Abbildung 3.15: Druckfilter 74
Abbildung 3.16: Rotationsvakuumfilter 75
Abbildung 3.17: American Petroleum Institute Abscheider (API-Abscheider) 81
Abbildung 3.18: Parallelplattenabscheider (PPI) 82
Abbildung 3.19: Wellplattenabscheider (CPI) 82
Abbildung 3.20: Prinzip des Kristallisationsverfahrens 87
Abbildung 3.21: Mehrzweckanwendung der Kristallisation in einer chemischen Produktion 88
Abbildung 3.22: Fliessbild einer Loprox-Anlage 95
Abbildung 3.23: Vereinfachtes Fliessbild des SCWO-Verfahrens 99
Abbildung 3.24: Anordnung der UO 107
Abbildung 3.25: Betrieb von 2 in Reihe geschalteten Adsorptionssäulen 111
Abbildung 3.26: Strippung von Ammoniak, Luft- und Dampfstrippung 125
Abbildung 3.27: Kohlenstoff-Bilanzen des aeroben (A) und anaeroben (B) mikrobiologischen Abbaus organischer Verbindungen 131
Abbildung 3.28: Anaerobes Kontaktverfahren 132
Abbildung 3.29: Schematische Darstellung des UASB-Verfahrens 132
Abbildung 3.30: Schematische Darstellung eines zweistufigen anaeroben Behandlungsverfahrens 133
Abbildung 3.31: Verfahrensfließbild einer Anlage zur biologischen Behandlung von Metallen und Sulfat 136
Abbildung 3.32: Beispiel einer Turmbiologie 140
Abbildung 3.33: Varianten des Biomembranreaktors, im Vergleich zum konventionellen Belebungsverfahren 141
Abbildung 3.34: Übersichtsschema eines Tropfkörpers 141
Abbildung 3.35: Biofilterverfahren im Vergleich zum konventionellen Belebungsverfahren 142
Abbildung 3.36: Nitrifikation/Denitrifikation in Reihe geschaltet 149
Abbildung 3.37: Nitrifikation/Denitrifikation mit vorgeschalteter Denitrifikation 149
Abbildung 3.38: Beispiel einer zentralen (mechanisch-biologisch-chemischen) AWBA 152
Abbildung 3.39: Zentrifugalschlammeindicker 159
Abbildung 3.40: DAF-Eindicker für Überschussschlamm 160
Abbildung 3.41: Bandfilterpresse 160
Abbildung 3.42: Plattenfilterpresse 161
Abbildung 3.43: Wirbelschichtverbrennungsofen [cww/tm/4] 167
Abbildung 3.44: Tiefschachtoxidationsreaktor [cww/tm/4] 168
Abbildung 3.45: Bereich der Abgas-End-of-pipe-Behandlungstechniken in Abhängigkeit von der Art der Schadstoffe 171
Abbildung 3.46: Typisches kapillares Membranmodul 173
Abbildung 3.47: Schematische Skizze einer üblichen Membrantrenneinrichtung 174
Abbildung 3.48: Anwendung des Membrantrennverfahrens als Dampfrückgewinnungseinheit (DRE) 175
Abbildung 3.49: Zweistufiges Kondensationssystem 178
Abbildung 3.50: Kryogenes Kondensations-Rückgewinnungssystem mit integrierter Stickstoffschutzatmosphäre 178

Abbildung 3.51: Kryogenes Rückgewinnungssystem unter inerter Atmosphäre 179
Abbildung 3.52: Typisches geschlossenes Kreislauf-Inertgas-Kondensationssystem 180
Abbildung 3.53: Typisches Doppelbett-Adsorptionsverfahren 184
Abbildung 3.54: Wirbelschicht Adsorption 185
Abbildung 3.55: Kontinuierliche Wanderbett Adsorption und Desorption 186
Abbildung 3.56: Wanderbett-Wäscher 191
Abbildung 3.57: Festbettwäscher 192
Abbildung 3.58: Prallplatten-Wäscher 193
Abbildung 3.59: Sprühturm, (a) Gegenstrom, (b) Gleichstrom 194
Abbildung 3.60: Typisches Absorptions/Desorptions-System 195
Abbildung 3.61: Biofilter Aufbau 200
Abbildung 3.62: Typisches Biofiltrationsverfahren 201
Abbildung 3.63: Typischer Biowäscher 204
Abbildung 3.64: Typisches Biowasch-Verfahren 205
Abbildung 3.65: Fließdiagramm des Rieselbett-Verfahrens 208
Abbildung 3.66: Typische Rieselbettfilter-Anlage 209
Abbildung 3.67: Schematische Darstellung verschiedener regenerativer Verbrennungssysteme 213
Abbildung 3.68: Verfahrensprinzip der katalytischen Oxidation 218
Abbildung 3.69: Regenerativer katalytischer Oxidationsreaktor 220
Abbildung 3.70: Typische Hochfackel [cww/tm/143] 223
Abbildung 3.71: Hauptbauteile des geschlossenen Brenners 224
Abbildung 3.72: Injektor Stabfackel 225
Abbildung 3.73: Geschirmte Fackel 226
Abbildung 3.74: Muffel-Fackel 226
Abbildung 3.75: Zyklon mit Umkehr der Axialströmung (Reverse Flow Cyclone) 232
Abbildung 3.76: Axialstromabscheider 232
Abbildung 3.77: Draht-Platten-Elektrofilter 236
Abbildung 3.78: Draht-Röhren-Elektrofilter 236
Abbildung 3.79: Schematische Darstellung des einstufigen und zweistufigen Elektrofilters 237
Abbildung 3.80: Wirbelwäscher 241
Abbildung 3.81: Venturi-Wäscher 242
Abbildung 3.82: Katalytisches Filtergehäuse, einschließlich Probenahme 251
Abbildung 3.83: Zweistufiger Staubfilter 253
Abbildung 3.84: Metallgaze Filter mit Wiederaufbau des Filterkuchens 254
Abbildung 3.85: Trockene Absorptionsmitteleinspritzung für die Schwefeldioxidentfernung (Injektionsstellen) 262
Abbildung 3.86: Sprüh- oder halbtrockene REA-Anlage 263
Abbildung 3.87: Nasses REA-System: Kalkmilchwäscher 264
Abbildung 4.1: Entscheidungsbaum für die Abwasserbehandlung an einem Chemiestandort: Grundlage für BVT-Entscheidungen 278
Abbildung 7.1: Cooperation Between an Industrial and a Municipal WWTP: Situation Before 323
Abbildung 7.2: Cooperation Between an Industrial and a Municipal WWTP: New Situation 324
Abbildung 7.3: Pinch Technology – Analysis, Source and Sink Curves 325
Abbildung 7.4: Example of Water Conservation Strategy before and after Pinch Analysis 326
Abbildung 7.5: Situation of Complex-site Chemical Production (Example XXI) 342
Abbildung 7.6: Central Waste Water Treatment for a Chemical Site Producing Pharmaceuticals, Pesticides 344

Tabellen

Tabelle 1.1: Wichtige Abwasserschadstoffe mit zugehörigen Behandlungstechniken....8
Tabelle 1.2: Auswahl von Abgasemissionsminderungsverfahren in Relation zu den Schadstoffen....11
Tabelle 1.3: Auswahl von Abgasemissionsminderungsverfahren in Relation zu den Abgasströmen....12
Tabelle 1.4: Mögliche Auswirkungen von Abwasserbehandlungsanlagen....13
Tabelle 1.5: Mögliche Auswirkungen von Abgasbehandlungsanlagen....13
Tabelle 3.1: Example of Costs of an Actual Project....51
Tabelle 3.2: Elimination von Schadstoffen im Abwasser mittels Koagulation....64
Tabelle 3.3: Eigenschaften von Mikrofiltration (MF) und Ultrafiltration (UF)....77
Tabelle 3.4: CSB-Elimination verschiedener Stoffe als Funktion der H_2O_2-Ausnutzung [cww/tm/132]....92
Tabelle 3.5: Eigenschaften der Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (UO)....105
Tabelle 3.6: Häufig eingesetzte Adsorbentien und deren Eigenschaften....110
Tabelle 3.7: Typische Leistungsmerkmale der GAK-Adsorption bei Zulaufkonzentrationen von etwa 1000 mg/l....113
Tabelle 3.8: Anaerobe, anoxische und aerobe Biologie und spezifische, für gewöhnlich damit verbundene Prozessparameter....130
Tabelle 3.9: Schwellenkonzentration einiger repräsentativer, für Belebtschlamm toxischer Stoffe....139
Tabelle 3.10: Vergleich von mit verschiedenen aeroben Verfahren behandelter spezifischer Frachten....143
Tabelle 3.11: Wichtige Nitrifikationshemmer....148
Tabelle 3.12: Typische Kalkzugaben zur Stabilisierung von Flüssigschlamm....165
Tabelle 3.13: Typische Werte für die Zugabe von Polymeren für verschiedene Schlammsorten und Entwässerungsverfah-ren....166
Tabelle 3.14: Typische Biowäscher-Anwendungen....206
Tabelle 3.15: Brennertypen....214
Tabelle 3.16: Anwendung, Anwendungsgrenzen und Beschränkungen verschiedener Nassentstauber....243
Tabelle 3.17: Leistungen, Verbrauchsstoffe und Kosten von verschiedenen nassen Staubwäschern....245
Tabelle 3.18: Allgemein verwendete Gewebe....246
Tabelle 3.19: Wirkungsgrade für Trockene Absorption mit Kalk als Absorptionsmittel bei verschiedenen Temperaturen und Staubbehandlungssystemen....266
Tabelle 3.20: Reinigungsleistungen für SO_x Behandlung mittels trockener Absorption (Kalk) bei verschiedenen Temperaturbereichen und molaren Ca/S-Verhältnissen....266
Tabelle 3.21: Reinigungsleistungen für SO_x Behandlung mittels halbtrockener Absorption (Kalk) mit unterschiedlichen Ca/S-Verhältnissen....266
Tabelle 3.22: Reinigungsleistungen für trockene und halbtrockene Absorption mit Natriumcarbonat....266
Tabelle 4.1: Verfahren zur Behandlung von Niederschlagswasser, beschrieben in Kapitel 3....280
Tabelle 4.2: Mit BVT verbundene Emissionswerte für freies Öl / Kohlenwasserstoff bei der Einleitung in einen Vorfluter281
Tabelle 4.3: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Feststoffe....283
Tabelle 4.4: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Schwermetalle....285
Tabelle 4.5: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Anorganische Salze (ohne Schwermetalle)....286
Tabelle 4.6: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen....289
Tabelle 4.7: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für biologische Behandlung....292
Tabelle 4.8: BVT-Emissionswerte für Abwassereinleitung in einen Vorfluter....293
Tabelle 4.9: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für die Staubreinigung in normalen Abgasströmen....299
Tabelle 4.10: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren fürdie Beseitigung von VOC und anorganischen Verbindungen aus normalen Abgasströmen....301
Tabelle 4.11: BVT-Emissionswerte für die Rauchgasreinigung im Chemiesektor....303
Tabelle 7.1: Monitoring of a WWTP....327
Tabelle 7.2: Waste Water Flows and Treatment Details on Complex Chemical Site (Example XXI)....342
Tabelle 7.3: Emission Levels of Heavy Metals at the Final Discharge Point....347

ANWENDUNGSBEREICH

Dieses horizontale BVT-Referenzdokument (**B**est available technique **REF**erence document - BREF) mit dem Titel „Abwasser- und Abgasbehandlungs-/managementsysteme in der chemischen Industrie“ bezieht sich auf die gesamte chemische Industrie und ist als Hilfestellung und Leitfaden für die Genehmigungsbehörden gedacht, um diese in ihrer Entscheidungsfindung bei Genehmigungsverfahren in Bezug auf wässrige und/oder gasförmige Ableitungen aus chemischen Anlagen zu unterstützen. Es ist ein Dokument aus einer Reihe von BREFs, die in Bezug auf die chemische Industrie erstellt wurden und zusammen gelesen werden sollten. Bei den anderen Dokumenten handelt es sich um:

- Chlor-Alkali-Herstellung,
- Herstellung organischer Grundchemikalien,
- Herstellung anorganischer Grundchemikalien,
- Polymere,
- Organische Feinchemikalien,
- Anorganische Spezialchemikalien,

sowie um die horizontalen BREFs

- Industrielle Kühlsysteme,
- Emissionen aus der Lagerung von Schüttgut oder gefährlichen Stoffen,
- Überwachungssysteme,
- Wirtschaftliche und medienübergreifende Belange.

Auch für den Raffineriesektor wird dieses BREF als relevant angesehen.

Aufgrund der zahlreichen Möglichkeiten bei der Abwasser- und/oder Abgasbehandlung in der chemischen Industrie muss sich das vorliegende Dokument auf die Techniken beschränken, die in diesem Sektor „üblicherweise“ eingesetzt werden bzw. einsetzbar sind. Doch selbst mit dieser Einschränkung können nur einige der in der Praxis eingesetzten Techniken behandelt werden. Das bedeutet, dass Behandlungsverfahren, die nur an einem Standort eingesetzt werden bzw. nur für einen speziellen Produktionsprozess entwickelt wurden, nicht berücksichtigt werden, sondern in den Anwendungsbereich der entsprechenden vertikalen Dokumente fallen. Dagegen werden Behandlungstechniken einbezogen, die zwar bisher in der chemischen Industrie nicht eingesetzt wurden, sich aber in anderen Sektoren als erfolgreich erwiesen haben. Voraussetzung ist jedoch, dass die Anwendung dieser Verfahren in der chemischen Industrie als Erfolg versprechend angesehen wird.

Prozess-integrierte Techniken werden in diesem Dokument angesprochen, sofern sie für mehrere Prozesse eingesetzt werden können oder ihre Anwendung allgemein anerkannt ist. Typisch standort- oder prozessspezifische Fragen im Zusammenhang mit der Abwasser-/Abgasbehandlung werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt; sie werden jedoch im Rahmen eines allgemeinen Ansatzes berücksichtigt, in dem der Umgang mit besonderen Verhältnissen erläutert wird.

Ein weiteres wichtiges Thema dieses Referenzdokuments ist das Abwasser- und Abgasmanagement als Bestandteil des betrieblichen Managements. Management bedeutet die Anpassung der örtlichen Gegebenheiten (wie Produktionsbesonderheiten, Gesetzgebung, örtliche Umweltsituation, Verfügbarkeit und Qualität von Rohstoffen und/oder Hilfsstoffen sowie klimatische Gegebenheiten) an den ökonomisch und ökologisch effizienten Betrieb eines Industriestandortes in seiner Gesamtheit. Aufgabe des vorliegenden Dokuments ist, einen Ansatz bzw. Ansätze für Managemententscheidungen zu beschreiben, die auf eine Minimierung der Auswirkungen von Abwasser- und Abgasemissionen auf die Umwelt abzielen.

Der Ausdruck „Auswirkungen auf die Umwelt“ in diesem BREF beinhaltet beispielsweise:

- den Verbrauch von Ressourcen wie Wasser aus natürlichen Gewässern, Energie, Rohstoffen, chemischen Stoffen usw.; dies ist von umso größerer Bedeutung, soweit nur begrenzt vorhandene Ressourcen betroffen sind, z. B. Wasser (in Gebieten mit ungünstigen klimatischen Bedingungen) oder nicht erneuerbare Energien;
- die Emissionen in Gewässer und/oder Luft, einschließlich Lärm- und Geruchsemissionen;
- die Abfallerzeugung;
- die Emissionen, die z. B. durch Anfahren/Abfahren von Anlagen entstehen.

Die Organisation der Beseitigung von Schlamm oder festen Rückständen aus der Abwasser- und Abgasbehandlung ist Teil der Betreiberentscheidung für einen Chemiestandort. Da es Standorte gibt, die über geeignete Behandlungsanlagen für Klärschlamm verfügen, wird dessen Behandlung in das vorliegende Dokument einbezogen. Die Behandlung von Abfällen, die kein Klärschlamm sind, fällt in den Anwendungsbereich der vertikalen Dokumente, die für die anderen in Anhang 1 der Richtlinie genannten Sektoren erstellt werden. Das vorliegende BVT-Merkblatt will jedoch in keiner Weise dem BVT-Merkblatt zur Abfallverbrennung vorgreifen, das noch zu erstellen ist.

Um Doppelarbeit und Überschneidungen mit den Themen anderer einschlägiger vertikaler und horizontaler BREFs soweit wie möglich zu vermeiden, müssen klare Grenzen gezogen werden. Als Beispiel wird anhand der Abbildung I die Abgrenzung zwischen den vertikalen BREFs im Chemiesektor und dem vorliegenden horizontalen Dokument für den Bereich Abwasser erläutert; für den Bereich Abgas ist die Situation vergleichbar.

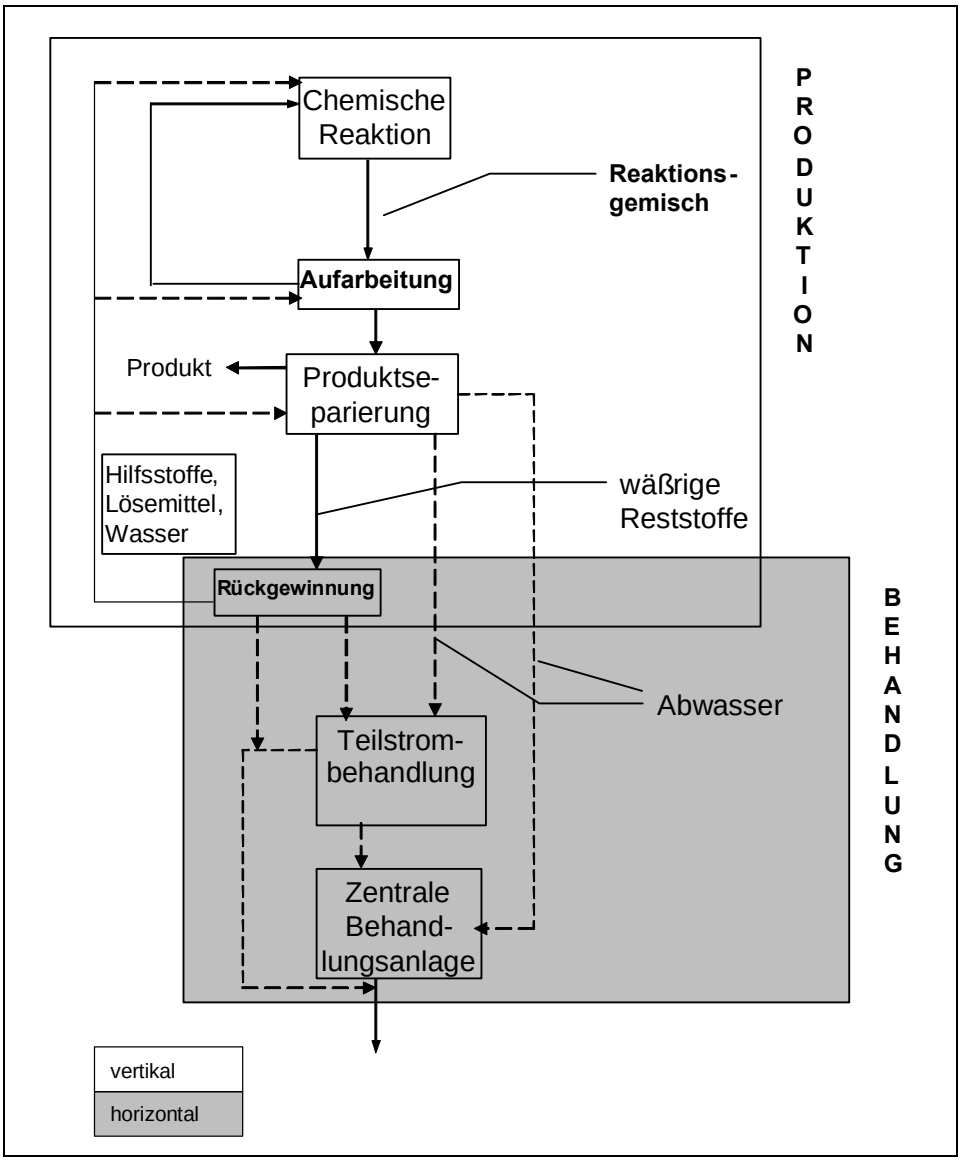

Abbildung I: Grenze zwischen produktionszugehörig und behandlungszugehörig bzw. zwischen vertikalem und horizontalem BREF

Dementsprechend umfasst der Anwendungsbereich dieses horizontalen Referenzdokumentes:

- die Beschreibung von Umweltmanagement in den Bereichen Abwasser und Abgas und dessen umweltfreundlichste Anwendung auf einen Standort der chemischen Industrie;
- die Beschreibung allgemein anwendbarer, prozess-integrierter Maßnahmen (d. h. Maßnahmen, mit identischer Verwendung für verschiedene Produktionsprozesse);
- die Beschreibung von Behandlungstechniken für Abwasser und Abgas im Hinblick auf deren Auswirkung auf die Umwelt, ihre jeweilige Effizienz/Leistung, ihre Grenzen und Vorteile sowie ihre Kosten;
- die Beschreibung von Behandlungstechniken für Klärschlamm, sofern diese an den Standorten der chemischen Industrie Anwendung finden;
- auf der Grundlage der oben angeführten Informationen - die Beschreibung von Vorhaben mit Optionen, die sicherstellen, dass die Abwasser- und Abgasbehandlungsverfahren (bzw. Kombinationen davon) zu einem Einsatz der besten verfügbaren Techniken beim Betreiben eines Standortes der chemischen Industrie in Gänze beitragen.

Geben aufgeführte Beispiele erreichbare Leistungsdaten zur Unterstützung der BVT-Schlussfolgerung an, so soll damit nicht der Eindruck erweckt werden, die genannten Werte könnten bei jeder individuellen Anwendung und unter allen Betriebsbedingungen erreicht werden. Gemachte Empfehlungen oder Vorschläge jedoch sind von allgemeiner Gültigkeit.

Das Dokument hat seine Gültigkeit insbesondere für den Chemie-Sektor. Die technische Arbeitsgruppe hat jedoch anerkannt, dass die behandelten Themen – Managementsysteme und -instrumente, Abwasser- und Abgasbehandlungsverfahren –wertvolle Informationen auch für andere Bereiche enthalten, deren konkrete Umsetzung jedoch in jedem einzelnen Fall einer sorgfältigen Prüfung bedarf.

1 ALLGEMEINE ASPEKTE

Auf Grund allgemeiner naturwissenschaftlicher Gesetzmäßigkeiten, wie z. B. das chemische und/oder physikalische Gleichgewicht, sind Abfallstoffe im Verlauf von chemischen Prozessen (Synthesen) unvermeidlich, so dass unerwünschte Nebenprodukte anfallen müssen. Art und Bandbreite dieser Emissionen sind äußerst variabel und hängen von der Zusammensetzung der Rohstoffe, der Produkte, der Zwischenprodukte, der Hilfsstoffe, den Prozessbedingungen etc. ab.

Die bei diesen Prozessen anfallenden Abfallstoffe können unterteilt werden in:

- Abwasser,
- Abgas,
- flüssige und feste Reststoffe.

Die aus der chemischen Produktion sowie der Weiterverarbeitung stammenden flüssigen (nicht-wässrigen) und festen Reststoffe werden separat abgehandelt - üblicherweise in vertikalen BREFs - und sind daher nicht Gegenstand dieses Dokuments.

Kapitel 1 gibt eine Übersicht über die allgemeinen Aspekte von:

- Abwasser und Abgas,
- Umweltmanagement,
- Behandlungsverfahren,
- Auswirkungen auf die Umwelt durch Abwasser- und Abgasbehandlung,

ohne dabei zu sehr ins Detail zu gehen.

1.1 Abwasser und Abgas in der Chemischen Industrie

1.1.1 Abwasser

Unter qualitativen Gesichtspunkten kommt der Hauptteil des Abwassers in der chemischen Industrie normalerweise nicht unmittelbar aus den chemischen Reaktionen. Obwohl Abwasser auch direkt bei Reaktionen entstehen kann, z. B. als Brüdenkondensat oder Reaktionswasser, so sind im Allgemeinen die wässrigen Ableitungen aus der anschließenden physikalisch-chemischen Aufarbeitung der Synthesegemische größer. Die Produkte und/oder Zwischenprodukte der einzelnen Synthesen oder Synthesestufen werden von den wässrigen Reaktionslösungen abgetrennt und mittels Verfahren wie Filtrieren und Zentrifugieren gereinigt; oder die Reaktionsgemische werden aufgearbeitet, z. B. durch Extrahieren oder Destillieren.

Solche Abwasserströme, die direkt aus chemischen Synthesen hervorgehen - 'Prozesswasser' - sind z. B.:

- Mutterlaugen,
- Waschwasser aus der Produktreinigung,
- Dampfkondensate, Brüden,
- Quenschwasser,
- Abwasser aus der Abluft- / Rauchgasreinigung,
- Abwasser aus der Apparatereinigung,
- Abwasser aus der Vakuumerzeugung.

Abwasserteilströme von anderen innerbetrieblichen Anfallstellen, wie:

- Rauchgaswäsche bei Verbrennungs- und Feuerungsanlagen,
- Aufbereitung von Brauchwasser,
- Abschlämmung von Kesselspeisewasser (eventuell mit Korrosionsinhibitoren, Bioziden, Kesselstein beaufschlagt),
- Abschlämmung von Kühlkreisläufen,
- Filterrückspülung,
- Anlagen im Labor- und Pilotmaßstab,
- Werkstätten,
- Sanitärabwassersammler,
- Sammler für Regenwasser von kontaminierten Flächen,
- Deponiesickerwasser,

tragen ebenso zur gesamten Wasserverunreinigung bei. Im Allgemeinen liegen daher im Abwasser praktisch alle Stoffe als Verunreinigung vor, die vor der Reaktion vorhanden sind oder während der Reaktion entstehen, wie:

- nicht umgesetztes Ausgangsmaterial,
- Produktrückstände,
- Hilfsstoffe, sofern sie nicht aus den wässrigen Ableitungen wiedergewonnen werden,
- Zwischenprodukte,
- unerwünschte Nebenprodukte.

Werden bei Synthesen organische Lösemittel und Hilfsstoffe eingesetzt, so machen diese in der Regel den Hauptteil der organischen Schadstofffracht aus, die den Abwasserbehandlungsanlagen zugeführt wird. Andererseits sind Nebenprodukte und Ausgangsstoffe oft für den biologisch schlecht abbaubaren Anteil an der Abwassergesamtbelastung verantwortlich.

Der Hauptteil des Prozessabwassers (70 - 90 %) besteht aus Teilströmen mit geringem Verschmutzungsgrad [cww/tm/82], z. B.:

- Spülwasser,
- Abwasser aus der Vakuumerzeugung,
- Waschwasser aus der Abluftreinigung,
- Abwasser von Geräten, z. B. Pumpen.

Teilströme wie Mutterlaugen, wässrige Ableitungen zu Prozessbeginn, Abschlämmungen aus Reinigungskreisläufen und Brüden machen die übrigen 10 - 30 % aus [cww/tm/82].

Betrachtet man hingegen die Schmutzlast, dann ist das Verhältnis umgekehrt. Die höher konzentrierten Teilströme (10 - 30 % des Gesamtabwassers) enthalten im Allgemeinen bis zu 90 % der relevanten Schadstoffbelastung [cww/tm/82].

Bei komplexen Abwasserströmen reichen allerdings Frachten und Konzentrationen nicht aus, um die Bedeutung der Schadstoffe darzustellen. Die Wirkung von gefährlichen und toxischen Schadstoffen mit Konzentrationen nahe der Nachweisgrenze kann, im Gegensatz zu hohen Konzentrationen nicht toxischer Stoffe, beachtlich sein. Abwasser aus der chemischen Industrie kann also toxische Wirkungen zeigen. Andererseits können mehrere Einzelströme, ohne selber toxische Wirkung zu haben, Synergieeffekte aufweisen, wenn sie sich - entweder in der Kanalisation oder im Vorfluter - miteinander mischen.

Abwasser und seine Auswirkung auf die Umwelt werden in der Regel charakterisiert durch:

- Schadstoffgehalt und -emission, ausgedrückt durch die Fracht und/oder die Konzentration einzelner Stoffe, wie NH_4^+-Ionen, NO_3^--Ionen, NO_2^--Ionen, PO_4^{3-}-Ionen, die einzelnen Schwermetalle, anorganische Säuren und Salze, Kohlenwasserstoffe;
- Wirkung auf und/oder Gefährdungspotential für den Vorfluter, ausgedrückt durch Summenparameter wie Abfiltrierbare Stoffe (AFS), BSB, CSB, AOX/EOX, VOX, pH, Leitfähigkeit und Temperatur;
- Wirkung auf Organismen im Vorfluter, ausgedrückt durch Toxizitätsdaten wie akute Toxizität, chronische Toxizität oder Mutagenität;
- Eigenschaften wie die hydraulische Belastung.

1.1.2 Abgas

Abgasströme kann man grob unterteilen in abgeleitete (geführte) und nicht abgeleitete Emissionen (diffuse Emissionen, flüchtige Emissionen). Nur abgeleitete Emissionen können behandelt werden. Was diffuse und flüchtige Emissionen angeht, so ist das Ziel eines Abgasmanagements sie zu vermeiden und/oder zu minimieren (z. B. indem man sie in einem Leitungssystem erfasst).

Abgas- und Abluftemissionen in der chemischen Industrie sind:

- abgeleitete (geführte) Emissionen, wie:
  - durch eine Abluftleitung entweichende, betriebstypische Prozessemissionen aus Anlageteilen;
  - Rauchgase aus Anlagen zur Energieversorgung, wie Prozessöfen, Dampfkessel, gekoppelte Kraft-Wärme-Anlagen, Gasturbinen, Gasmotoren;
  - Abgase aus Anlagen zur Emissionsminderung, wie Filter, Verbrennungsanlagen oder Adsorber, die unbehandelte oder in der Behandlungsanlage erzeugte Schadstoffe enthalten können;
  - Abgase aus Reaktoren und Kondensationsanlagen;
  - Abgase aus der Rückgewinnung von Katalysatoren;
  - Abgase aus der Rückgewinnung von Lösemitteln;
  - Abgase aus Abluftleitungen im Lager- und Umschlagsbereich (Transport, Be- und Entladen) von Endprodukten, Rohstoffen und Zwischenprodukten;
  - Abgase aus Entlüftungsventilen oder Vorwärmeeinrichtungen, die nur bei An- oder Abfahrvorgängen Anwendung finden;
  - Ableitung aus Sicherheitsentlastungseinrichtungen (z. B. Sicherheitsauslässe, Rückschlagventile);
  - Abluft aus allgemeinen Lüftungssystemen;
  - Abgase aus der Erfassung von diffusen und/oder flüchtigen Quellen, z. B. diffuse Quellen innerhalb einer Einhausung oder in einem Gebäude.

- diffuse Emissionen (siehe Glossar), die unter normalen Betriebszuständen aus Punkt-, Linien-, Flächen- oder Raumquellen herrühren [cww/tm/158], wie:
  - von großen Oberflächen oder aus Öffnungen etc. freigesetzte, betriebstypische Prozessemissionen aus Anlagenteilen;
  - nicht gefasste Emissionen (z. B. Betriebs- und Entlüftungsverluste, sofern diese nicht gefasst und abgeleitet werden) aus Lageranlagen und während des Umschlags von Stoffen (z. B. Befüllen von Fässern, Tankwagen oder Containern);
  - Emissionen, die auftreten, wenn die Anlage anders als üblich betrieben wird, einschließlich Emissionen während des An- oder Abfahrbetriebs sowie bei Wartungsarbeiten;
  - Emissionen von Fackeln;
  - Sekundäremissionen, die beim Umgang oder bei der Beseitigung von Abfallstoffen (z. B. flüchtige Stoffe aus Kanalisation, Abwasseranlagen oder Kühlwasser) auftreten .
- flüchtige Emissionen (siehe Glossar), wie:
  - Verluste aus Pumpen- und Kompressordichtungen, Ventilen, Flanschen, Verbindungen und anderen Rohrleitungsteilen, oder auch anderen Einrichtungen, wie Abfluss- oder Entlüfterverschlüssen oder -dichtungen.

Die wichtigsten Luftschadstoffe bei chemischen Prozessen und bei der Energieversorgung sind:

- Kohlendioxid,
- Schwefeloxide (SO_2, SO_3) und andere Schwefelverbindungen (H_2S, CS_2, COS),
- Stickoxide (NO_x, N_2O) und andere Stickstoffverbindungen (NH_3, HCN),
- Halogene und ihre Verbindungen (Cl_2, Br_2, HF, HCl, HBr),
- Verbindungen aus unvollständiger Verbrennung, wie CO und C_xH_y,
- flüchtige organische Verbindungen (VOC, Volatile Organic Compounds) und Organo-Silicium-Verbindungen, die Stoffe mit kanzerogenem Potential enthalten können,
- Feststoffe (wie Staub, Ruß, Alkali, Schwermetalle) mit möglichen kanzerogenen Eigenschaften.

1.2 Umwelt-Management im Hinblick auf Abwasser und Abgas

Das Umwelt-Management gewinnt als Teil des gesamten Managementsystems zunehmend an Bedeutung. Es beinhaltet die Organisationsstruktur, die Verantwortlichkeiten, Handlungsweisen, Verfahrensvorschriften, Arbeitsabläufe und Mittel, um die Umweltziele des Unternehmens zu entwickeln, zu implementieren, zu erreichen, zu überprüfen und zu überwachen. Im Hinblick auf Abwasser und Abgas stellt es die Regeln für deren Einbeziehung bei der Konzeptfindung, der Planung, der Bewertung, dem Design, dem Bau, dem Betrieb und der Wartung eines chemischen Betriebs auf; d. h. es stellt eine Strategie dar, wie allen an das Abwasser und/oder das Abgas gestellten Anforderungen entsprochen werden kann. Es leistet Hilfe z. B. bei:

- der Berücksichtigung möglicher Einwirkungen auf die Umwelt bei der Planung neuer Produktionen oder der Erweiterung bereits bestehender Produktionen,
- der Entscheidung über den geplanten Fertigungsprozess,
- der Entscheidung über die Einführung produktionsintegrierter Maßnahmen,
- der Entscheidung über den Produktionsweg,
- der Entscheidung bei der Wahl des Entsorgungsweges,
- der Entscheidung über den Einsatz einer zentralen oder dezentralen Behandlung bzw. Minderungsmaßnahme,
- der Entscheidung über das Verfahren zur Minimierung der Umweltbelastung,
- den Entscheidungen über die Schaffung einer geeigneten Infrastruktur bzw. zur Änderung einer bestehenden sowie über die Verbesserung der Abwasser- und/oder Abgasqualität,
- der Bewertung der verschiedenen Behandlungsstrategien bezüglich ihrer medienübergreifenden Auswirkungen (cross-media effects),
- der Entscheidung zur Vermeidung von flüchtigen Emissionen durch Ersatz oder Modifizieren älterer Ausrüstungen, wenn diese zu hohen Leckageraten tendieren,
- der Entscheidung über den Einsatz eines Leckage Detektions- und Instandsetzungsprogramms (Leak Detection and Repair, LDAR).

Wie man aus den wenigen oben aufgeführten Beispielen ersehen kann, liegt der Sinn des Umweltmanagements im Treffen von Entscheidungen zwischen mehreren Optionen unter Betrachtung der jeweiligen besonderen Situation. Und es hat - selbstverständlich - zu tun mit Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit. Die wichtigste Frage, bei deren Beantwortung das Umweltmanagement Hilfestellung gibt, ist: Wie kann man einen komplexen Standort betreiben und seinen Bedarf an Versorgung mit Ressourcen und Entsorgung von Abfällen sicherstellen, und dies gleichzeitig mit den geringstmöglichen Auswirkungen auf die Umwelt als Ganzes, mit der höchstmöglichen Wirtschaftlichkeit und ohne Qualitätsverlust? Die Beantwortung dieser Frage ist eine der Aufgaben in Kapitel 4 zu den BVT-Schlussfolgerungen.

Will man die von Abwasser und/oder Abgas ausgehenden Einwirkungen auf die Umwelt möglichst gering halten, dann ist es die Aufgabe des Betreibers, eine umfassende und integrierte Umweltstrategie zu entwickeln. Zur Entwicklung dieser Strategie muss man sich zu den folgenden Punkten Gedanken machen:

- Wasser wird immer mehr zu einem wertvollen Gut, so dass die Rückführung von behandeltem Abwasser, sofern in besonderen Situationen möglich und notwendig, zunehmend an Bedeutung gewinnt. Somit liegt der Zweck einer Abwasserbehandlung darin, sowohl Wasser rückzuführen oder rückzugewinnen, als auch die Einleitqualität zu verbessern. Das Ergebnis solch einer umfassenden Abwasserstrategie mag letztendlich Standort spezifisch und damit nur für diese konkrete Situation anwendbar sein. Allerdings folgt die Herangehensweise an dieses Ergebnis in der Regel dem in den Kapiteln 2 und 4 beschriebenen Weg.

- Obwohl Luft keine sich verringernde Ressource darstellt, so ist ihre Reinheit lebenswichtig (Stichworte sind z. B. Klimaveränderung und Abbau der Ozonschicht). Deshalb sind größere Anstrengungen zu unternehmen, die Freisetzung von Schadstoffen in die Atmosphäre zu vermeiden und sie stattdessen wieder in den Produktionsprozess zurück zu führen oder sie anderweitig am Standort einzusetzen.

- Im Gegensatz zum Abwasser gibt es beim Abgas wesentliche Bestandteile - namentlich nicht abgeleitetes Abgas -, die einer Behandlung nicht zugänglich sind. Ihrer kann man nur mit Vermeidungstechniken Herr werden. Das Management von Leckverlusten bezieht sich auf Detektion, Quantifizierungsmethoden, Materialauswahl, Organisation und vorbeugende Wartungsmaßnahmen.

- Bei Planung und Design eines Fertigungsprozesses sollte das erste Ziel die Vermeidung von in die Umwelt zu entlassenden Abfallstoffen sein. Dies wird unterstützt durch die Wahl einer "sauberen Technologie" und von "sauberen Rohstoffen".

- Bei Planung und Design eines Abgasbehandlungssystems ist die Entscheidung für Verfahren mit oder ohne Wasserverbrauch (z. B. Nasswäsche, Biofiltration, Wasserkühlung) ein wichtiger Faktor, besonders in Regionen, in denen Wasserknappheit herrscht.

- Wenn - wie in der Regel der Fall - eine vollständige Vermeidung von Abfallstoffen nicht machbar ist, folgt als nächster Schritt seine Minimierung, und zwar nicht nur bezüglich seines Volumens, sondern auch bezüglich seiner Auswirkung durch gefährliche Stoffe, die dann eventuell im Produktionsprozess ersetzt werden müssten.

- Wenn alle Maßnahmen zur Minderung von Abfallstoffen getroffen sind, so folgt als nächster Schritt die Behandlung des unvermeidlichen Anfalls von Abfallstoffen durch Einsatz eines Behandlungssystems mit der größtmöglichen Wirksamkeit zur Minimierung der Gesamtauswirkungen auf die Umwelt. Die Wahl dieses Behandlungssystems basiert auf der Bewertung:
  - seiner Wirksamkeit,
  - seines Energiebedarfs,
  - seines Platzbedarfs,
  - der möglichen Erzeugung von Abgasen oder Abwasser, Abfall und Lärm,
  - seines Ressourcenverbrauchs,
  - seiner Investitionskosten,
  - seiner störenden Auswirkungen auf andere Betriebseinheiten und Sicherheitseinrichtungen,
  - seiner Wartungsanforderungen.

- Die Qualität des Mediums (Luft, Wasser, Boden), in das der Industriestandort seine Abfallstoffe entlässt, kann dergestalt sein, dass spezielle und schärfere Anforderungen an die Qualität des Abwassers und/oder des Abgases gestellt werden müssen.

Aktionsplanung ist nur ein Teil des Umweltmanagements. Der nächste und bedeutendere Schritt ist ein Prozess der kontinuierlichen Verbesserung der gegebenen Situation, d. h. alle die verschiedenen Stufen und Schritte müssen im Laufe der Zeit wieder und wieder durchgeführt werden. Dies wird in der Regel unterstützt durch die Umweltpolitik einer Firma für alle ihre Standorte sowie die Gesetzgebung der EU-Mitgliedsstaaten.

Die Grundlage für ein Umweltmanagement - oder Abwasser- und Abgasmanagement -, bezogen auf die Behandlung von Abfallstoffen, ist, dass die Einleitung von Schadstoffen in ein Behandlungssystem, dass nicht für die Beseitigung dieser Schadstoffe geeignet ist, vermieden oder wenigstens auf ein Minimum reduziert werden muss.

Die Möglichkeiten, ein Umweltmanagement einzuführen oder anzuwenden, sind unterschiedlich für neue und bestehende Anlagen. Bei neuen Anlagen können vorbeugende Minderungsmaßnahmen, die Behandlung von getrennten Abfallstoffströmen und/oder prozessintegrierte Maßnahmen schon in der Planungsphase der Anlage erfolgreich in Betracht gezogen werden. Bei bestehenden Anlagen kann das Nachrüsten in bestehende Einrichtungen hinein und bei vorgegebener Infrastruktur technische und organisatorische Schwierigkeiten und höhere Kosten nach sich ziehen. Allerdings sind die Herangehensweise und das Prinzip - möglicherweise nicht das Ergebnis - eines Umweltmanagements, wie sie in diesem Dokument vorgeschlagen werden, für neue und bestehende Anlagen grundsätzlich gleich.

Eine detaillierte Beschreibung von Umweltmanagement-Systemen und den Werkzeugen, diese zu realisieren, wird in Kapitel 2 gegeben.

1.3 Behandlungsverfahren

Auf Grund der unterschiedlichen Quellen für Emissionen (wässrige und/oder gasförmige) sowie der Vielfalt an Schadstoffen und ihrer Belastung ist der Einsatz eines mehr oder weniger komplexen (entsprechend der Komplexizität der Produktion) Behandlungssystems (zur Vermeidung und/oder Minderung), das auf Managemententscheidungen basiert, unvermeidlich für das Betreiben eines Standortes der chemischen Industrie. Solch ein Behandlungssystem besteht aus:

- prozessintegrierten Maßnahmen, wie Mehrfachnutzung von Wasser, Wassereinsparung und Vermeidung von Umweltverschmutzung,
- End-of-pipe Behandlung (Einzel- und/oder zentrale Einrichtungen).

Wie die verschiedenen Arten von Behandlungstechniken in den Anwendungsbereich dieses Dokuments hineinpassen, ist in Abbildung 1.1 für Abwasser und in Abbildung 1.2 für Abgas dargestellt. Die senkrechten Balken geben die Grenzen dieses Querschnitt-BREFs wieder.

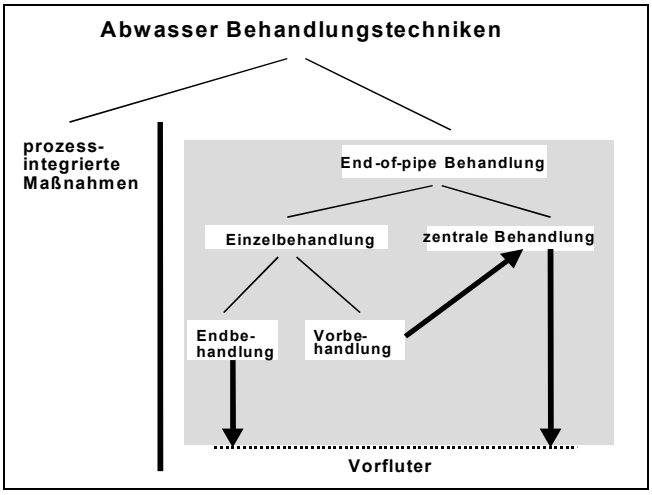

Abbildung 1.1: Abwasser Behandlungstechniken

Die Pfeile in Abbildung 1.1 symbolisieren den Abwasserfluss. Diese Darstellung will jedoch nicht suggerieren, dass immer dann, wenn eine zentrale Behandlungsanlage zum Einsatz kommt, auch eine Vorbehandlungsanlage erforderlich ist.

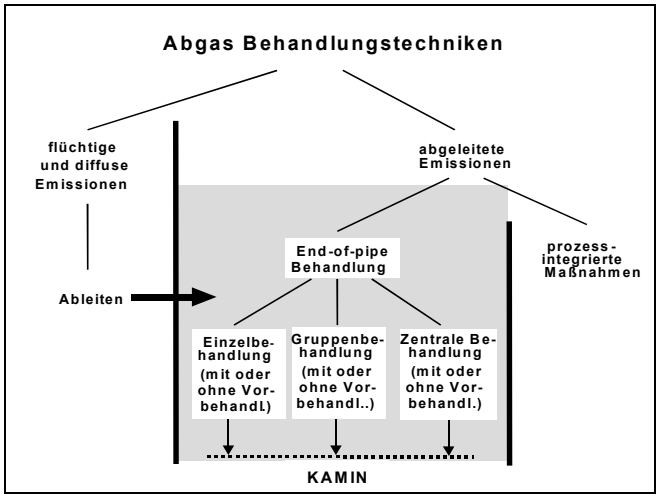

Abbildung 1.2: Abgas Behandlungstechniken

Abbildung 1.2 zeigt, dass flüchtige und diffuse Emissionen nicht unter den Anwendungsbereich dieses Dokumentes fallen. Können Leckverluste und diffuse Emissionen gefasst werden, so treten sie in den Wirkungsbereich von Behandlungsverfahren für abgeleitete Emissionen.

1.3.1 Prozessintegrierte Maßnahmen

Obwohl strenggenommen prozessintegrierte Maßnahmen zur Abfallvermeidung oder zur Verminderung des Schadstoffausstoßes über den Abwasser- und Abgaspfad zum Anwendungsbereich von vertikalen BREFs gehören, sollen sie dennoch in diesem Querschnittsdokument erwähnt werden, sofern sie in chemischen Produktionsprozessen allgemein angewandt werden. Sie gehören in jedem Fall zu einer guten Managementpraxis und sind bei der Einrichtung eines Abwasser- und Abgas-Managementsystems an einem Standort in Betracht zu ziehen.

Fortschrittlicher Umweltschutz verlagert sich immer mehr von End-of-Pipe-Verfahren hin zu prozessintegrierten - oder produktionsintegrierten - Maßnahmen. Von prozessintegrierten Maßnahmen gehen merkliche Umweltverbesserungen sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Anlagen aus. Ihr Sinn besteht darin, die Bildung von Reststoffen direkt am Ort des Entstehens schon vor ihrem Ausstoß zu vermindern - oder sogar zu vermeiden. Oft helfen diese 'Verfahrensverbesserungen' bei der Senkung der Kosten für zusätzliche Behandlungsmaßnahmen sowie bei der Steigerung der Wirtschaftlichkeit in Folge wachsender Produktionsausbeute und/oder verringerten Rohstoffeinsatzes. Diese Verlagerung hin zu prozessintegrierten Maßnahmen kann durch Deponierungskosten sowie die Grenzen von End-of-pipe-Verfahren beeinflusst werden. Obwohl die Vermeidung von Abfallstoffen und damit der Einsatz von prozessintegrierten Maßnahmen zunehmend an Bedeutung gewinnt, werden die Abfallbehandlungstechniken ihren wesentlichen Anteil zur Verminderung von Emissionen in die Umwelt behalten, vor allem dann, wenn prozessintegrierte Maßnahmen für bestehende Anlagen nicht durchführbar sind.

Ein ordnungsgemäßer, prozessintegrierter Umweltschutz setzt alle möglichen Techniken (physikalische, chemische, biologische und ingenieurtechnische) zur Vermeidung, Verminderung und Kreislaufführung von Reststoffen ein. Beispiele sind:

- neue Synthesewege,
- Einsatz von reineren oder sogar andersartigen Rohstoffen und Reaktionsmitteln,
- Einsatz von reineren oder andersartigen Brennstoffen,
- Optimierung von Prozessschritten,
- Verbesserung von Anlagentechnologie, Prozesssteuerung und Reaktionsablauf,
- technische Anpassungen an den Prozess,
- verbesserter Einsatz von Katalysatoren und/oder Lösemitteln,
- Rückführung von Hilfsstoffen (z. B. Waschwasser, inerte Gase, Lösemittel, Katalysatoren),
- Rückführung von Reststoffen unmittelbar während des Prozesses,
- Einsatz von Reststoffen als Rohstoffe für andere Herstellungsverfahren (Produktintegration am und/oder außerhalb des Standorts),
- Einsatz von Reststoffen zur Energieerzeugung.

Es liegt auf der Hand, dass bei bestehenden Anlagen die Entwicklung vollkommen neuer Synthesewege - zumeist aus wirtschaftlichen Gründen - die Ausnahme bleiben. Eine solche Entwicklung wird auf Massenprodukte und Produkte mit hoher wirtschaftlicher Wertschöpfung beschränkt bleiben. In der Praxis wird sich der produktionsintegrierte Umweltschutz mit der Zeit als Summe vieler einzelner - und vielleicht kleiner - Verbesserungen kontinuierlich entwickeln.

1.3.2 End-of-pipe-Techniken

End-of-pipe-Techniken sind Verfahren, die die Emissionen aus Produktions- oder Lageranlagen oder von Betriebsflächen - bzw. Teilen davon - behandeln, um deren Schadstoffgehalt zu vermindern (s. Abbildung 1.1 und Abbildung 1.2).

1.3.2.1 Abwasserbehandlung

Die bei bestehenden Anlagen vorliegenden wirtschaftlichen Einschränkungen (hohe Investitionskosten) oder begrenzten Nachrüstmöglichkeiten (z. B. Platzmangel) bewirken, dass prozessintegrierte Maßnahmen vorzugsweise bei neu errichteten Anlagen vorgenommen werden. Daher greift man in der chemischen Industrie wie auch in den meisten anderen Industriebranchen auf End-of-pipe-Verfahren zurück, wenn man Abwasser und die darin enthaltenen Schadstoffe mindern will. Diese Verfahren umfassen die Vorbehandlung oder Endbehandlung von Abwassereinzelströmen ebenso wie die zentrale Behandlung des Gesamtabwassers vor Einleitung in einen Vorfluter. Die verschiedenen End-of-pipe-Abwasserbehandlungsverfahren sowie ihre Anwendbarkeit zur Minderung der wichtigsten Schadstoffe in der chemischen Industrie finden sich in Tabelle 1.1.

Verfahren	Susp. Fest-stoffe	BSB CSB TOC	Refrak-tärer CSB	AOX EOX	N_{ges}	NH_4-N (NH_3)	PO_4-P	Schwer-metalle	Phe-nole	Öl
Sedimentation	X	(X) [a]						(X) [j]		
Luftflotation	X	X [b]						(X) [j]		X
Filtration	X	(X) [a]						(X) [j]		
MF / UF	(X) [c]	(X) [a]								
Ölabscheidung		X								X
Fällung							X	X		
Kristallisation							X	X		
chemische Oxidation		X	X	X						
Nassoxidation		X	X	X					X	
Oxidation mit überkritischem Wasser - SCWO		X	X	X					X	
chemische Reduktion										
chemische Hydrolyse										
NF / UO		X	X	X				X		
Adsorption		X	X	X				X		
Ionenaustausch		(X) [d]						X		
Extraktion		X	X	X						
Destillation/Rektifikation		X	X	X						
Eindampfung		(X) [e]						X		
Strippung		(X) [f]		X		X				
Verbrennung		X	X	(X) [g]		X		(X) [k]	X	X
biologisch anaerob		X		(X) [h]	(X) [h]			X [l]		
biologisch aerob		X		(X) [h]			X		X	
Nitri-/Denitrifizierung					X	X				

[a] nur Feststoffe
[b] ungelöster organischer Anteil
[c] fein dispers und geringe Konzentration
[d] ionogene organische Teilchen
[e] nicht-flüchtiger organischer Anteil
[f] flüchtiger organischer Anteil
[g] spezielle Brennerausführung erforderlich
[h] nur biologisch abbaubarer Anteil
[j] ungelöste Schwermetallverbindungen
[k] überführt in die Asche oder das Abwasser aus der Verbrennungsanlage
[l] in Verbindung mit Sulfat als Sulfid gefällt

Tabelle 1.1: Wichtige Abwasserschadstoffe mit zugehörigen Behandlungstechniken

Chemiestandorte mit komplexem Produktionsspektrum haben für Prozesswasser in der Regel ein ausgedehntes Sammel- und Behandlungssystem. Für eine Abwasserbehandlung gibt es unterschiedliche Ansätze, wobei jeder - je nach den Umständen - seine Vor- und Nachteile hat:

- dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen (AWBA), in denen das Abwasser am Ort des Anfalls behandelt und danach in den Vorfluter eingeleitet wird (d. h. keine zentrale Abwasserbehandlungsanlage am Standort);
- zentrale Abwasserbehandlung, normalerweise unter Einsatz einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage (AWBA);
- zentrale AWBA mit vorgelagerter Teilstromvorbehandlung am Ort des Anfalls;
- Abwassereinleitung in eine kommunale Kläranlage;
- Abwassereinleitung in eine kommunale Kläranlage mit Vorbehandlung am Ort des Anfalls,

wobei die beiden letzten Spiegelstriche jeweils einen Sonderfall der beiden vorhergehenden Spiegelstriche darstellen.

Die Vorteile einer dezentralen Abwasserbehandlung oder einer Behandlung am Ort des Anfalls (oder die Nachteile einer zentralen Abwasserbehandlung) sind:

- die Betriebsleiter der einzelnen Produktionsanlagen zeigen ein größeres Verantwortungsbewusstsein gegenüber den Abwasserabgängen, wenn sie für die Qualität ihrer eigenen Abwassereinleitungen direkt verantwortlich gemacht werden;
- größere Flexibilität bei Werkserweiterungen oder beim Einstellen auf sich verändernde Bedingungen;
- Behandlungsanlagen für den Ort des Anfalls werden maßgeschneidert und zeigen so normalerweise eine bessere Arbeitsweise;
- im Gegensatz zur zentralen biologischen Behandlung fällt kein (oder weniger) Überschussschlamm zur Entsorgung an;
- die Behandlungsleistung von nicht-biologischen Verfahren ist unabhängig von der biologischen Abbaubarkeit der Abwasserströme;
- Vermeidung einer Verdünnung durch Vermischen von unterschiedlichen Abwasserströmen und dadurch normalerweise eine bessere Wirksamkeit bei der Behandlung, etc.;
- das Kosten-Nutzen-Verhältnis kann bei einer Teilstrombehandlung deutlich besser sein als bei einer zentralen Behandlung.

Die dezentrale Abwasserbehandlung ist die Methode der Wahl bei Abwasserteilströmen mit vollkommen unterschiedlichen Eigenschaften.

Die Hauptvorteile beim Einsatz einer zentralen AWBA (oder die Nachteile von dezentralen Behandlungsanlagen), sind:

- Zunutzemachen von Synergieeffekten durch einen Mix von biologisch abbaubarem Abwasser, d. h. Effekte, die einen mikrobiologischen Abbau von speziellen Schadstoffen in einer Mischung mit anderen (oder sogar in einer Verdünnung mit anderen Abwasserströmen) möglich machen , während der Teilstrom selbst nur geringe biologische Abbaubarkeit zeigt;
- Zunutzemachen von Mischungseffekten, wie Temperatur- oder pH-Ausgleich;
- effektiverer Chemikalien- (z. B. Nährstoffe) und Materialeinsatz, und damit Senken der spezifischen Betriebskosten.

Abwasser von Chemiestandorten wird auch gemeinsam mit kommunalem Abwasser behandelt, und zwar entweder in herkömmlichen kommunalen Kläranlagen oder in speziell für die gemeinsame Behandlung von kommunalem und industriellem Abwasser eingerichteten Anlagen. Die gemeinsame Behandlung erfolgt normalerweise so, dass das Industrieabwasser wegen seiner hohen organischen Anfangsbelastung und seiner Neigung zu sinkender Abbaurate in verdünnter Form im ersten Schritt eine Hochlaststufe durchläuft und anschließend, nach Zusammenführen mit dem kommunalen Abwasser, in einem zweiten biologischen Schritt einer Behandlung in einer Niederlaststufe unterzogen wird.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die gemeinsame Behandlung von kommunalem Abwasser und Abwasser aus der chemischem Industrie im Allgemeinen - zumindest in erster Näherung - weder synergetische noch antagonistische Effekte auf den Vorfluter hat [cww/tm/82] (ein Gegenbeispiel für eine aufeinander abgestimmte Betriebsweise einer AWBA der chemischen Industrie und einer kommunalen Kläranlage wird in Annex 7.1 beschrieben). Die eingeleiteten Schadstofffrachten verhalten sich im Allgemeinen additiv.

Vorteile [cww/tm/82] einer gemeinsamen Abwasserbehandlung können sein:

- die Betriebsstabilität einer gemeinsamen biologischen Behandlung kann günstig beeinflusst werden durch:
  - Verbesserung der Bedingungen für die Nährstoffe,
  - Optimierung der Abwassertemperatur und somit der Abbaukinetik,
  - Ausgleich der Zulauffracht, sofern die Tageslauflinien der beiden Abwasserströme entsprechend strukturiert oder aufeinander abgestimmt werden können,
  - Unterdrücken der toxischen und inhibitorischen Effekte der Abwasserinhaltsstoffe durch Senken der Konzentrationen unter die kritischen Schwellenwerte,
- die gemeinsame Behandlung von Abwasser und Überschussschlamm kann, im Einzelfall, Einsparungen bei Investitions- und Betriebskosten aufweisen.

Nachteile können sein:

- Systeme mit Mischentwässerung und ohne ausreichendes Puffervermögen gegen Starkregenereignisse können im Falle heftiger Regenfälle durch hydraulische Überlastung Schaden nehmen, was zu erhöhter Schadstoffeinleitung und gleichzeitigem Bakterienverlust aus dem Belebungsbereich der zentralen AWBA führen kann [cww/tm/82];
- verminderte Reinigungsleistung durch produktionsbedingte Betriebsstörungen, was zu einer höheren Gewässerverschmutzung auf Grund einer unzureichenden Behandlung sowohl des kommunalen als auch des industriellen Abwasseranteils führt [cww/tm/82];
- eine ganze Reihe von Chemikalien kann, sogar bei geringeren Konzentrationen, die Nitrifikation stören. Bricht die Nitrifikation zusammen, kann es mehrere Wochen dauern, bis sie sich wieder erholt und eine hinreichende Stickstoffeliminierung gewährleistet. Es ist daher von entscheidender Bedeutung, die Abwasserströme aus dem industriellen Bereich sehr sorgfältig auf hemmende und störende Einflüsse hin zu untersuchen und zu überwachen, um das Risiko einer gemeinsamen Abwasserbehandlung klein zu halten [cww/tm/82].
- eine gemeinsame Behandlung von Abwasserströmen unterschiedlicher Herkunft beinhaltet das Risiko, dass persistente Schadstoffe, wie Schwermetalle und biologisch nicht abbaubare Verbindungen, sich auf Grund von Verdünnung der Behandlung - manchmal sogar der Entdeckung - entziehen können. Diese Schadstoffe gelangen ohne Abbau in einen Vorfluter, adsorbieren am Klärschlamm oder werden während der Belüftung in die Atmosphäre gestrippt. Dies würde der Verpflichtung entgegenwirken, diese Substanzen am Ort des Anfalls zu vermeiden oder zu behandeln. Dieser Nachteil betrifft alle Behandlungsaktivitäten an zusammengeführten Abwasserströmen
- eine gemeinsame Behandlung kann dazu führen, dass der Klärschlamm für einen weiteren Einsatz oder eine weitere Behandlung durch, z. B., anaerobe Klärschlammfaulung zu belastet ist.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt für das Abwassersystem ist die Handhabung von Regen- und Spülwasser. Bei einer Anzahl älterer Chemiestandorte in Europa gibt es nur ein Kanalsystem, in dem Regen-, Spül-, Kühl- und Prozesswasser gemeinsam gesammelt und den Abwasserbehandlungsanlagen zugeführt werden. Besonders bei Starkregenereignissen kann dies zu Fehlfunktionen der AWBA und dadurch zu erhöhten Einleitungen führen. Fortschrittliche Standorte der chemischen Industrie haben üblicherweise ein getrenntes Kanalsystem zum Sammeln von unkontaminiertem Regen- und Kühlwasser. Details zeigt Abschnitt 3.3.4.4.

1.3.2.2 Abgas-Behandlung

Abgasbehandlungsverfahren beschäftigen sich im Allgemeinen mit der Verminderung von:

- Feststoffen,
- Brüden von flüchtigen, flüssigen Stoffen,
- gasförmigen Luftschadstoffen.

Eine Abgasbehandlung findet in der Regel direkt an der Entstehungsstelle statt. Nur selten können Abgasströme mit unterschiedlichen Eigenschaften gemeinsam in einer zentralen Behandlungsanlage behandelt werden. Ein Hauptgrund ist, dass Behandlungsanlagen normalerweise speziell für eine individuelle Abgaszusammensetzung ausgelegt sind. Ein weiterer wichtiger Grund ist, dass ein besonderes Augenmerk auf die Freisetzung von toxischen und gefährlichen Stoffen und ihre Auswirkung auf die Umgebung sowie auf die Sicherheit der Anlage gelegt werden muss. Berücksichtigt man die toxischen und/oder gefährlichen Merkmale vieler Stoffe sowie die gehandhabten, im Allgemeinen großen Volumina, so ist Sicherheit in der chemischen Industrie ein entscheidender Gesichtspunkt.

Eine Auswahl von Verfahren zeigt Tabelle 1.2 in Abhängigkeit von den Schadstoffen, und Tabelle 1.3 in Abhängigkeit von den Abgasströmen [beide cww/tm/70].

							Geruch
					organische gas- oder dampfförmige Verbindungen		
					anorganische gas- oder dampfförmige Verbindungen		
				organische Feststoffe			
			anorganische Feststoffe				
		feuchte Materialien					
	trockene Materialien						
Verfahren/Aggregat							
Staubrückgewinnung und -behandlung							
Abscheider (vor)	x	x	x	x			
Zyklon (vor)	x	x	x	x			
Nassentstauber (EB)	x	x	x	x			
Elektrofilter (EB)	x	x	x	x	(x)	(x)	
Gewebefilter (einschl. Keramikfilter) (EB)	x		x	x			
Katalytische Filtration (EB)	x	x	x	x		x	
zweistufiger Staubfilter (rein)	x		x	x			
Absolutfilter (HEAP) (rein)	x		x	x			
Hochleistungsfilter - HEAF (rein)		x					
Nebelabscheider (vor, rein)		x			(x)		
Abgasrückgewinnung							
Membranabscheidung (vor)						x	
Kondensation (vor)					(x)	x	
Kryokondensation (vor, EB)					(x)	x	(x)
Adsorption (EB)					x	x	x
nasse Gaswäsche (Wasser) (EB)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
nasse Gaswäsche (alkalisch) (EB)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
nasse Gaswäsche (alkalisch-oxidativ) (EB)	(x)	(x)	(x)	(x)			x
nasse Gaswäsche (sauer) (EB)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	x
Abgasbehandlung							
Biofiltration (EB)					x	x	x
Biowäsche (EB)					x	x	x
Biorieselbettverfahren (EB)					x	x	x
Thermische Nachverbrennung (EB)				x		x	x
Katalytische Nachverbrennung (EB)						x	x
Fackel (EB)						x	x
Behandlung von Verbrennungsabgas							
trockene Alkalieinspritzung (EB)					x		
halbtrockene Alkalieinspritzung (EB)					x		
nasse Kalkmilcheinspritzung (EB)					x		
SNCR (EB)					x		
SCR (EB)					x	(x)	

x = Primäranwendung
(x) = Sekundäranwendung
(vor): hauptsächlich als Vorbehandlung
(EB): Verfahren eingesetzt als Endbehandlung
(rein): hauptsächlich als Reinigungsschritt nach Standardbehandlung

Tabelle 1.2: Auswahl von Abgasemissionsminderungsverfahren in Relation zu den Schadstoffen

Verfahren/Aggregat	100 [Nm³/h]	1.000 [Nm³/h]	10.000 [Nm³/h]	100.000 [Nm³/h]
Staubrückgewinnung und -behandlung				
Abscheider	x	x	xx	xx
Zyklon	x	xx	xx	x
Nassentstauber		x	xx	xx
Elektrofilter (1-stufig)			x	x
Gewebefilter	x	x	xx	xx
Keramikfilter		xx	x	x
Katalytische Filtration	x	x	x	
zweistufiger Staubfilter		x	x	
Absolutfilter (HEAP)	x	x		
Hochleistungsfilter - HEAF	xx	xx	x	
Nebelabscheider		x	xx	xx
Gasrückgewinnung				
Membranfiltration				
Kondensation	x	x	xx	x
Kryokondensation	x	x		
Adsorption	x	xx	xx	x
nasse Gaswäsche (Wasser)	x	x	xx	xx
nasse Gaswäsche (alkalisch)	x	x	xx	xx
nasse Gaswäsche (alkalisch-oxidativ)	x	x	xx	x
nasse Gaswäsche (sauer)	x	x	xx	xx
Abgasbehandlung				
Biofiltration	x	xx	xx	xx
Biowäsche	x	x	x	x
Biorieselbettverfahren	x	x	x	x
Thermische Nachverbrennung		x	xx	
Katalytische Nachverbrennung		x	xx	
Behandlung von Verbrennungsabgas				
trockene Alkalieinspritzung			xx	x
halbtrockene Alkalieinspritzung			x	xx
nasse Kalkmilcheinspritzung		x	x	x
SNCR	x	x	x	x
SCR		x	xx	xx

x = Anwendung
xx = meist übliche Anwendung

Tabelle 1.3: Auswahl von Abgasemissionsminderungsverfahren in Relation zu den Abgasströmen

1.4 Umweltauswirkungen von Abwasser- und Abgasbehandlung und ihre Wechselwirkungen

Obwohl Abwasserbehandlungssysteme generell Emissionen ins Wasser reduzieren, hat das Betreiben dieser Systeme seine eigenen Umweltauswirkungen. Besonders relevant bezüglich der aus der Abwasserbehandlung herrührenden Emissionen in die Luft sind jene Wasserströme, die mit flüchtigen organischen (VOC) und anorganischen Verbindungen (z. B. Ammoniak, Schwefelwasserstoff oder Chlorwasserstoff) verunreinigt sind. Wann immer solche Wasserströme in offenem Kontakt mit der Atmosphäre stehen, können (Geruchs-) Emissionen durch diese Komponenten auftreten. Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf Belebungsbecken von biologischen Abwasserbehandlungsanlagen, Rührprozesse, offene Pufferbecken, Absetzbecken und Abwasserstrippvorrichtungen zu richten. In all diesen Fällen können Schadstoffemissionen aus dem Medium Wasser in das Medium Luft verlagert werden. Somit kann eine zusätzliche Abgasbehandlung erforderlich werden. Emissionen in die Luft können auch beim Mischen von Wasserströmen unterschiedlicher Temperatur oder beim Zusatz von Säuren oder Alkalien zur pH-Einstellung entstehen.

Die möglichen Auswirkungen durch Abwasserbehandlungsanlagen auf die Umweltmedien werden kurz in Tabelle 1.4 dargestellt [cww/tm/84].

Umweltmedium	mögliche Auswirkung / Emission
Luft	• Verdampfung/Bildung von Geruch (e.g. H_2S, NH_3, Merkaptane etc.). • Bildung von Aerosolen. • Verwehen von potentiell gefährlichen Mikroorganismen aus der Behandlungsanlage. • VOC-Emissionen (aus dem Wasser ausgedampft oder ausgestrippt). • Wird Biogas gebildet und nicht als Brennstoff zur Energieerzeugung genutzt, wird es normalerweise abgefackelt, was zu Emissionen in die Luft führt.
Wasser	• Im Prinzip eine signifikante Verminderung von Emissionen ins Wasser. • Bei gemeinsamer Behandlung von Regen- und Prozesswasser kann das Behandlungssystem bei einem Starkregenereignis überlastet werden, was zusätzliche Schadstoffemissionen zur Folge hat, da das System nicht ordnungsgemäß arbeiten kann.
Abfall	• Schlamm aus der Abwasserbehandlung und Wäscherlösungen.
weitere	• Die zentrale AWBA verbraucht Energie. In einigen Fällen wird Biogas erzeugt, das als Energiequelle genutzt warden kann..

Tabelle 1.4: Mögliche Auswirkungen von Abwasserbehandlungsanlagen

Weitere relevante Punkte sind der Energieverbrauch und die Schlammbildung durch die Abwasserbehandlungsverfahren. Bildung und Handhabung von Schlamm (z. B. Entwässerung, Verbrennung) sind verantwortlich für einen merklichen Anteil des Energiebedarfs und der Umweltauswirkungen einer AWBA. Andererseits gibt es Behandlungssysteme mit positiver Energiebilanz. Bei anaeroben biologischen Abwasserbehandlungsanlagen kann zum Beispiel das bei der Behandlung gebildete Gas (Biogas) als Brennstoff genutzt werden. Andernfalls muss es abgefackelt werden, wodurch unbehandelte Abgase in die Luft gelangen.

Das, was in den vorhergehenden Absätzen über Abwasserbehandlungssysteme gesagt wurde, gilt auch für Abgasbehandlungsverfahren. Ihre relevanten Umweltauswirkungen sind Emissionen in die Medien Wasser und Luft. So bedeutet z. B. der Einsatz von Nasswäschern, dass Abwasser in einem Folgeschritt behandelt werden muss. Bei der Abgasverbrennung wird ein Rauchgas emittiert, das gasförmige Schadstoffe enthält, die im ursprünglichen Abgas nicht enthalten waren, wodurch eine weitere Abgasbehandlung erforderlich werden kann. Wie bei der Abwasserbehandlung, so geht der Betrieb von Abgasbehandlungsanlagen mit dem Verbrauch von Energie und Wasser einher, wobei letzteres unter bestimmten klimatischen Gegebenheiten ein wichtiger Gesichtspunkt sein kann. Dies wird kurz in Tabelle 1.5 dargestellt.

Umweltmedium	mögliche Auswirkung / Emission
Luft	• Prinzipiell (und primär), signifikante Verminderung von Schadstoffemissionen • Bei thermischer/katalytischer Nachverbrennung werden VOC ersetzt durch Rauchgasschadstoffe, wie Kohlendioxid, Halogenwasserstoffe, Schwefeldioxid, Stickoxide, Dioxine. • Emissionen von Fackeln.
Wasser	• Wäschen/Absorptionsverfahren überführen Schadstoffe aus dem Medium Luft in das Medium Wasser. • Einige Behandlungsverfahren benötigen große Mengen an Wasser (z. B. Wäsche, Kondensation mit strömendem Wasser).
Abfall	• Schlamm aus der Sekundärbehandlung von Abwasser aus der Abgasbehandlung. • Reststoffe aus Abgasbehandlungsanlagen (z. B. abgetrennte Feststoffe, nicht rückgeführte Kondensate, verbrauchtes Adsorbens, verbrauchte Katalysatoren).
weitere	• Abgasbehandlungsanlagen verbrauchen in der Regel Energie.

Tabelle 1.5: Mögliche Auswirkungen von Abgasbehandlungsanlagen

Zusätzlich zu Fackeln und thermischen / katalytischen Nachverbrennungsanlagen gibt es in der chemischen Industrie eine Vielzahl von Umwelt- und Sicherheitseinrichtungen. Der Hauptzweck dieser Einrichtungen liegt darin, die von dem Betrieb der Anlage ausgehenden Umweltauswirkungen zu mindern bzw. die Betriebssicherheit zu erhöhen. Diese Einrichtungen reichen von sehr einfachen Maßnahmen bis hin zu komplexen Behandlungsanlagen.

Im Allgemeinen muss der Gesamteffekt der Umwelt- und Sicherheitseinrichtungen positiv sein. Deshalb werden sie schließlich installiert. Wegen grundlegender Erhaltungssätze können jedoch die meisten Behandlungsverfahren, zusätzlich zu ihren Reinigungseffekten, negative Umweltauswirkungen haben. Beispiele für solche medienübergreifenden Auswirkungen sind Abfall aus Filtern, Abwasser aus Wäschern und höherer Energieverbrauch durch den Betrieb der Behandlungsanlagen. Es fällt schwer, den Schnittpunkt („break-even point“) anzugeben, an dem die positiven Auswirkungen einer Behandlungsmaßnahme gegenüber den negativen die Oberhand gewinnen, da dies stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt. Als Faustregel gilt, dass Umweltqualität und Sicherheit vor Ort Priorität haben müssen. Darüber hinaus gilt es im Allgemeinen als vorteilhaft, wenn Schadstoffe in hoch konzentrierter und behandelbarer Form vorliegen. Dies bietet die beste Gelegenheit für ihre Wiederverwendung, ihre weitere Behandlung oder ihre kontrollierte Beseitigung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Abwasser- und Abgasbehandlung, zusätzlich zu ihren eigenen Auswirkungen auf die Umwelt, sich auch gegenseitig auf unterschiedliche Weise beeinflussen:

- einzelne Abwasserbehandlungsverfahren haben gasförmige Emissionen zur Folge, die zu nachgeschalteten Abgasbehandlungsanlagen abgeleitet werden müssen, was häufig mit komplexen Baumaßnahmen verknüpft ist;
- Abgasbehandlungsverfahren haben gasförmige und/oder wässrige Emissionen zur Folge, die eine weitere Abgas- und/oder Abwasserbehandlung erfordern.

Beide (gasförmige Freisetzungen zu Abgasbehandlungsanlagen oder wässrige zu Abwasserbehandlungsanlagen) können in der Regel bestehende nachgeschaltete Behandlungsanlagen beeinflussen, obwohl sie in den meisten Fällen nur zu einer geringen Erhöhung der Belastung führen. Gegenteilige Beispiele sind die Nasswäsche für Abgase oder das Strippen von flüchtigen Stoffen aus einer AWBA.

2 ABWASSER- UND ABGASMANAGEMENT

Kapitel 2 ergänzt die allgemeine Beschreibung in Kapitel 1 und beschreibt die Aspekte des Abwasser- und Abgasmanagements im Lichte der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Es betont hinsichtlich des Betriebs einer chemischen Anlage oder eines Chemiestandorts die Bedeutung des Managements zum Erreichen eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt beim Betrieb einer chemischen Anlage. Wo möglich wird die gemeinsame Vorgehensweise hinsichtlich wässriger oder gasförmiger Emissionen beibehalten; auf die einzelnen Medien wird dann Bezug genommen, wenn es um medienspezifische Strategien oder Instrumente geht.

Dieses Kapitel beschreibt das Umweltmanagement als das Zusammenspiel von Managementsystemen und Managementinstrumenten und ist nicht streng auf Abwasser- und Abgasprobleme beschränkt, aber es muss ein Bezug zu IVU-Anlagen bestehen. Andernfalls würde es die Zielsetzung eines integrierten Ansatzes nicht erfüllen.

Die Einführung eines Umweltmanagementsystems an einem gegebenen Standort hängt von der Umweltauswirkung der dort durchgeführten Tätigkeiten ab und muss die spezifische Umweltsituation am und in der Umgebung des Standorts berücksichtigen. Dieses Kapitel stellt den allgemeinen Ablauf und die relevanten Instrumente zur Einführung eines Umweltmanagementsystems vor, wie es für Chemiestandorte gültig ist.

2.1 Umweltmanagementsystem (UMS)

Wie in Kapitel 1 kurz erwähnt, darf die Bedeutung des Umweltmanagements, das oft als “Gesundheits-, Sicherheits- und Umwelt-Management (HSE)” bezeichnet wird, nicht überschätzt werden. Es bietet viele Vorteile, wie:

- verbesserter Einblick in die Umweltaspekte des Betriebs
- verbesserte Grundlage für Entscheidungsfindungen
- verbesserte Motivation des Personals
- zusätzliche Möglichkeit der Verringerung von Betriebskosten und Verbesserung der Produktqualität
- verbesserte Umweltbilanz
- verbessertes Firmenimage
- geringere Kosten für Haftpflicht und Versicherungen, weniger Verstöße gegen Anforderungen
- größere Attraktivität für Arbeitnehmer, Kunden und Investoren
- verbesserte Beziehungen zu Behörden und Umweltgruppen

Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, besteht das UMS im Allgemeinen aus einem sich wiederholenden Prozess von strategischen Schritten [cww/tm/132]. Nach [cww/tm/132] bestehen diese Schritte aus:

- Umweltpolitik; sie bedeutet die öffentliche Bekanntgabe - geprüft und gebilligt durch die höchste Ebene des Managements - der Absichten, der Grundsätze der Vorgehensweise und Zielsetzungen, die die Leitlinien einer Firma in Bezug auf die Umwelt darstellen
- Organisation und Struktur für die Einführung der Umweltpolitik der Firma
- Umfassende Zusammenstellung der gültigen rechtlichen Regelungen und Firmenstandards
- regelmäßiges Probenahme- und Überwachungsprogramm, bei dem die Daten in einem Kataster zusammengetragen werden
- Erstellung eines individuellen Umweltprogramms für den Standort auf Basis globaler, langfristiger Zielsetzungen, die auf höchstem erreichbarem Niveau festgelegt sind. Das Programm berücksichtigt auch die Daten des Katasters über Umweltauswirkungen.
- Umweltbetriebsprüfung
- regelmäßige Überprüfung und Bewertung der Tauglichkeit und Leistungsfähigkeit des UMS. Das Ergebnis hat Einfluss auf die Umweltpolitik. So wird der sich wiederholende Prozess abgeschlossen und erneut gestartet.

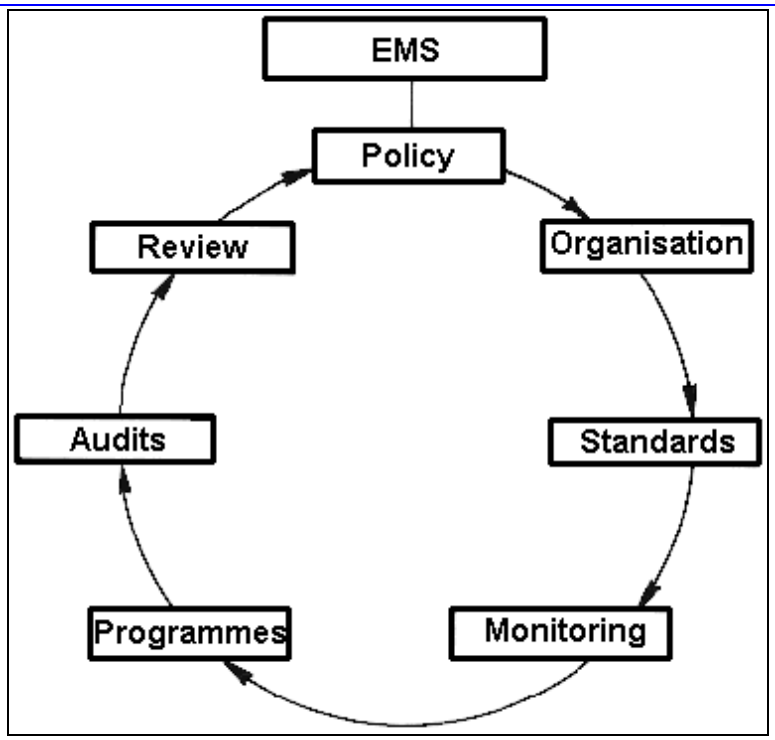

Abbildung 2.1: Der Kreislauf des Umweltmanagementsystems (UMS)
Audits = Audits; Monitoring = Überwachung; Organisation = Organisation; Policy = Politik; Programmes = Programme; Review = Überprüfung; Standards = Standards (einzuhaltende Vorgaben)

Dieser sich wiederholende Prozess bedeutet, dass das UMS nicht ein einmaliger Prozess, sondern ein sich wiederholendes Verfahren zur Optimierung der Umweltsituation oder der Umwelteinstellung einer Firma oder eines industriellen Standorts ist.

Es gibt akzeptierte Standards für ein UMS, wie:

- ISO 9001 / 14001 (Internationale Normenorganisation)
- EMAS (Europäische Kommission, Verordnung (EG) Nr. 761/2001 des Europäischen Parlamentes und des Rates – Umweltmanagement und Umweltbetriebsführung), das die Anforderungen von ISO 14001 berücksichtigt
- Responsible Care® (verantwortliches Handeln der Chemischen Industrie)
- ICC-Charta für eine langfristige tragfähige Entwicklung (Internationale Handelskammer)
- CEFIC-Umweltschutzrichtlinien (Verband der Europäischen Chemischen Industrie).

Es liegt nicht im Geltungsbereich dieses Dokuments, einen detaillierten Überblick über das gesamte UMS für einen Chemiestandort zu geben, weshalb im Folgenden die Verwendung des Ausdrucks UMS auf das Abwasser- und Abgasmanagement in Zusammenhang mit IVU-Thematiken beschränkt ist.

Das UMS ist ein exzellenter Weg, die integrierte Umweltleistung an einem Industriestandort zu verbessern. Dem Firmenmanagement bietet sich die Möglichkeit:

- Einblick in die umweltbelastenden Vorgänge der Produktionsprozesse zu gewinnen
- ausgewogene Entscheidungen über Umweltmaßnahmen zu treffen
- Vermeidung von vorübergehenden Lösungen und Investitionen ohne Amortisation
- angemessenes und vorbeugendes Handeln bei neuen Umweltentwicklungen

Das UMS folgt in der Regel der Strategie eines sich wiederholenden Vorganges:

- Analyse oder Charakterisierung der Verschmutzung/Untersuchung des Herstellungsprozesses unter Einsatz der Instrumente wie sie in Abschnitt 2.2.1 dargelegt sind, um zu verstehen, wie die Verschmutzung entsteht;
- Ermittlung der Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltverschmutzung durch Maßnahmen wie:

- Berücksichtigung der Umweltauswirkung bei der Planung neuer Produktionslinien oder bei der Planung einer Erweiterung von bestehenden Produktionslinien
- Überarbeiten und Neuauslegen der Prozesstechnologie, z. B. Wechsel zu umweltfreundlicher Technologie, saubereren Rohstoffen und/oder verbesserter Anlagentechnik
- prozessintegrierte Vermeidungsmaßnahmen
- Möglichkeiten zum Recycling oder Rückgewinnung von Abfallinhaltsstoffen
- Möglichkeiten zur Verbesserung der Emissionserfassung und –überwachung, z. B. der Emissionen durch Vorbehandlung
- End-of-pipe-Maßnahmen
- Bewertung von zentralen im Vergleich zu dezentralen end-of-pipe-Behandlungstechniken

• Bewertung der wirksamsten Möglichkeiten unter Berücksichtigung von:
  - Umweltvorteile und –auswirkung, wie die Reinigungsleistung und die Abwägung der medienübergreifenden Auswirkungen insgesamt
  - technische, organisatorische und finanzielle Machbarkeit
  - standortspezifische Einschränkungen und Möglichkeiten (wie Platzbedarf gegenüber begrenztem Platzangebot, Qualität des betreffenden Gewässers)
  - Sicherheitsaspekte
  - benötigte Betriebs- und Hilfsmittel

• Durchführung von Maßnahmen zur Zielerreichung und Überwachung der Zielerreichung entsprechend eines Maßnahmenplans, der Punkte enthält wie:
  - Zeitplan für die Maßnahme
  - Verantwortlichkeit für die Maßnahme
  - zu bewertende Daten
  - Überwachungsverfahren und -häufigkeit
  - Richtlinien, auf denen das Überwachungsverfahren und der Evaluierungsprozess basieren

  und die der Auswertung der Ergebnisse zugrunde gelegt werden.

Der wiederkehrende Prozess ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Die Bewertung führt zu einem erneuten Start des gesamten Kreislaufs, da – wie oben angeführt – das UMS ein sich wiederholender Prozess ist.

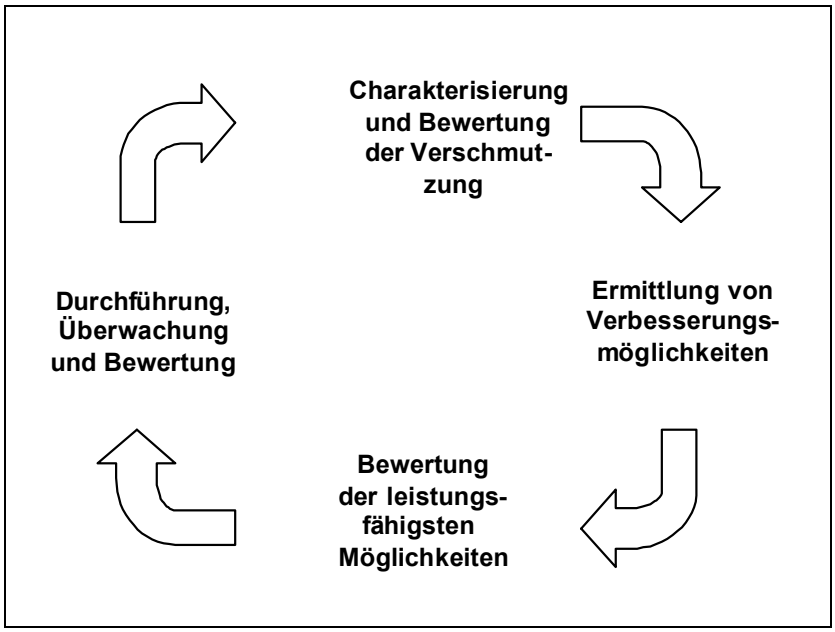

Abbildung 2.2: Strategie für das standortbezogene UMS

Ein Teil des UMS besteht aus der Umweltverträglichkeitsprüfung zu einem frühen Planungsstadium der Entwicklung eines neuen Prozesses und/oder eines neuen Vorhabens. Dabei ist (unter Verwendung des in Abbildung 2.2 dargestellten Kreislaufs) folgendes zu entscheiden:

- was ist oder könnte die Auswirkung des neuen Prozesses/Vorhabens sein?
- welche Abfälle entstehen?
- können die Abfälle in bestehenden Anlagen behandelt werden?
- sind sie toxisch (akut toxisch) in Bezug auf das betreffende Medium oder auf die bestehenden Behandlungsanlagen?
- können sie – oder müssen sie – vermieden werden?

Die Umsetzung eines UMS ist ein komplexes Verfahren, da der in Abbildung 2.2 dargestellte, sich wiederholende Prozess für alle einzelnen Verfahrensschritte mit allen relevanten Umweltaspekten in Bezug auf das Ergebnis für den ganzen Standort durchführt werden muss. Abbildung 2.3 bietet einen groben Eindruck zu dieser Komplexizität mit der Bemerkung, dass nur einige der wichtigsten Umweltaspekte – eine anlagenbezogene Strategie zur Reduzierung der Umweltverschmutzung durch Behandlungsmaßnahmen – und zwei einzelne Anlagen berücksichtigt werden. Die Schritte 1 bis 4 entsprechen denen in Abbildung 2.2.

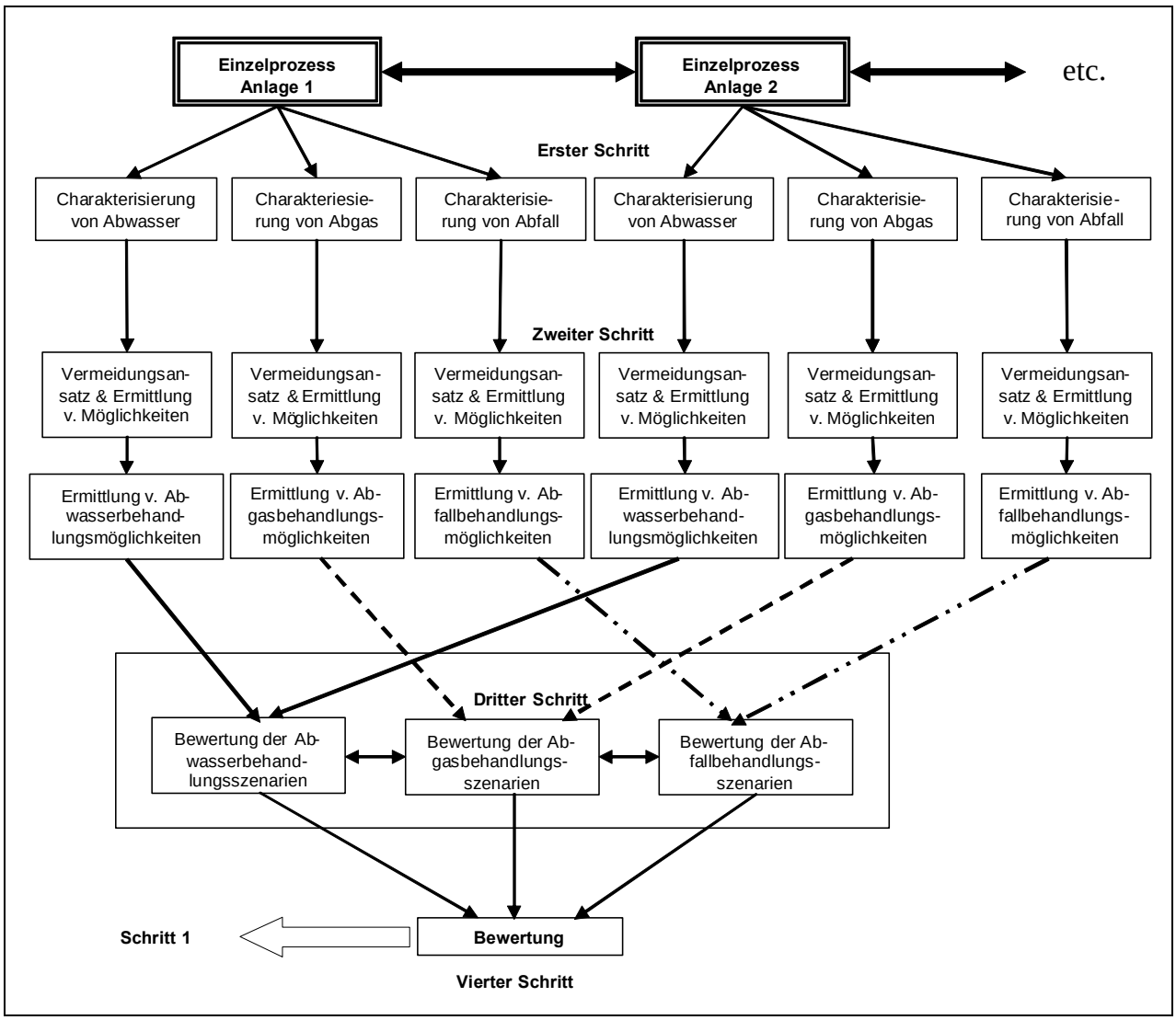

Abbildung 2.3: Komplexizität eines standortbezogenen UMS

Das UMS wird mit Unterstützung von Managementinstrumenten durch Experteneinschätzung in die Tat umgesetzt. Die verschiedenen Arten von Instrumenten sind in Abschnitt 2.2 dargestellt und erklärt.

2.2 Managementinstrumente

Zur Durchführung eines UMS im Sinne der strategischen Schritte (siehe Abbildung 2.1) werden verschiedene Instrumente (Management- und ingenieurmäßige Instrumente) angewandt. Diese können grob eingeteilt werden in:

- Instrumente für die Bestandsaufnahme, die detaillierte Informationen über den Ort, die Produktion, die Umweltverhältnisse, die Emissionen etc. einer Chemieanlage liefern und so zur Ermittlung von Emissionen, die vermeiden oder reduziert werden können, beitragen
- betriebliche Instrumente, die zu Entscheidungen bei der Planung, Auslegung, Ausführung, Betrieb und Verbesserung von Anlagen zur Vermeidung von Umweltverschmutzung und/oder zur Behandlung von Emissionen beitragen
- strategische Instrumente, die sich auf die integrierte Organisation und Durchführung des Emissionsmanagements am gesamten Chemie-Standort erstrecken
- Sicherheits- und Notfallinstrumente, die für die Behebung von Störungen und von unvorhergesehenen Ereignissen erforderlich sind.

2.2.1 Managementinstrumente für die Bestandsaufnahme

Zum Betrieb eines Industriestandorts in Übereinstimmung mit einem guten UMS ist es unerlässlich, über detaillierte und klare Informationen zu verfügen:

- Standort und seine Umweltsituation
- Produktionsprozesse
- Verschmutzungscharakteristiken der einzelnen Produktionsprozesse
- Charakteristiken der Emissionsströme
- örtliche Situation.

Ohne dieses Wissen ist die Entwicklung einer schlüssigen, wirksamen und kostengünstigen Strategie zur Vermeidung oder Reduktion der Emissionen nicht möglich. Obwohl die Quantifizierung aller der in den Emissionsströmen auftretenden Schadstoffe oft praktisch unmöglich ist, kann normalerweise ein Weg zur Reduzierung der notwendigen Parameter (z. B. Anzahl der Messungen) ohne relevanten Informationsverlust gefunden werden.

2.2.1.1 Bestandsaufnahme für einen Standort

Eine Bestandsaufnahme für einen Standort besteht aus folgenden Informationen:

- Örtlichkeit (Landkarte, Lageplan)
- Klima, geographische Verhältnisse, Qualität des Bodens und des Grundwassers, Nachbarschaft, betroffenes Gewässer
- Größe des Standorts (gesamte Fläche, bebaute Fläche, entwässerte Fläche, versiegelte Fläche)
- Anzahl der Beschäftigten
- Produktionsanlagen
- Liste der Produktionsanlagen, die folgende Daten zu jeder Anlage umfasst:
  - Klassifizierung der Produktionsanlagen entsprechend der IVU-Richtlinie, Anhang I, Nr. 4, Chemische Industrie
  - Spezifische Angaben zur Produktionsanlage
- Informationen zu den Produktionsprozessen; für jeden Prozess sollten folgende Informationen vorhanden sein:
  - eine kurze Beschreibung
  - vereinfachte Verfahrensschemata mit Angabe der Quellen der Abfallströme
  - Details zu den chemischen Reaktionen (Haupt- und Nebenreaktionen) und damit zusammenhängende Vorgänge
  - Informationen zu Hilfsstoffen, Zwischen- und Endprodukten
  - Betriebsweise (kontinuierliche oder diskontinuierliche Prozesse oder Betrieb in Kampagnen)
  - potenziell mögliche Gefahrensituationen (unbeabsichtigte Freisetzungen, Leckagen)
- Entwässerungssystem (Kanalisation, Abwasserbehandlungsanlage, Regenwasserkanalisation)

2.2.1.2 Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgasströme (Kataster)

Die Zusammenstellung der relevanten Basisdaten zur Zusammensetzung und Menge der Abwasser- und Abgasströme – jeder einzeln für sich – wird in Form einer Bestandsaufnahme oder eines Katasters der Abwasser- und Abgasströme (Abwasserkataster, Abgaskataster) bewerkstelligt. Die emittierten Ströme werden entsprechend ihrer Herkunft, d. h. des Produktionsprozesses, aus dem sie resultieren, aufgelistet. Dies ist ein Schlüsselelement bei der Bewertung ihres Belastungsgrades und der Art der Schadstoffe sowie der Möglichkeiten zur Reduktion der Schadstoffe an der Quelle. Die Herkunft des Abwassers ist in Abschnitt 1.1.1 aufgelistet, die des Abgases in Abschnitt 1.1.2.

Ein Kataster der Abwasser- oder Abgasströme besteht aus:

- Informationen über den chemischen Produktionsprozess, wie:
  - chemische Reaktionsformeln mit den Ausgangsverbindungen, Produkten und Nebenprodukten
  - vereinfachtes Verfahrensfließbild für die betreffende Produktionsanlage, den Reaktor, die Produktaufarbeitung und Produktisolierung und Darstellung der genauen Herkunft der verschiedenen Emissionsquellen
- Informationen über die emittierten Ströme, wie:
  - Inhaltsstoffe und ihr Schwankungsbereich
  - relevante Angaben zur Konzentration und Fracht der bedeutenden Inhaltsstoffe und ihre Schwankungsbreite (einschließlich Messverfahren und Häufigkeit)
  - Massenströme und ihre Schwankungsbreite (z. B. stoßweise, kontinuierlich oder diskontinuierlich)
  - Temperatur
  - pH-Wert (bei Abwasser)
  - Leitfähigkeit (bei Abwasser)
  - Brennbarkeit (bei Abgas)
  - Explosionsgrenzen (untere Explosionsgrenze – LEL – und obere Explosionsgrenze – HEL)
  - Reaktionsfähigkeit (bei Abgas)
  - relevante Schadstoffe und/oder Parameter, wie:
    - ➢ CSB/TOC, NH_4-, NO_3- und NO_2-N, Phosphor, Schwermetalle, halogenierte Kohlenwasserstoffe, persistente organische Schadstoffe (POP) – falls zu erwarten – und Toxizität des Abwassers
    - ➢ Chlor, Brom, Fluor, Chlorwasserstoff, Schwefeloxide (SO_x), Schwefelwasserstoff, Mercaptane, Kohlenmonoxid, Stickoxide (NO_x), Staub, Schwermetalle und ihre Verbindungen, flüchtige organische Stoffe (VOC) im Abgas
  - Angaben zur biologischen Abbaubarkeit (bei Abwasser), wie:
    - ➢ BSB-Konzentrationen
    - ➢ Ergebnisse aus dem modifizierten Zahn-Wellens-Test
    - ➢ refraktäre CSB/TOC-Frachten
    - ➢ Potenzial der Denitrifikationshemmung
  - Auftreten anderer Stoffe (bei Abgas), die einen Einfluss auf das Behandlungssystem oder auf die Sicherheitsaspekte, wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserdampf, Staub haben können.

Der Zweck einer Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgasströme ist die Feststellung der wichtigsten Emissionsquellen (für jedes Medium, Abwasser und Abgas) und die Möglichkeit der Priorisierung der zu ergreifenden Maßnahmen zur Verminderung der Emissionen. Im Allgemeinen handelt es sich um ein Vorgehen in vier Schritten:

- Auflistung der Emissionsquellen
- Untersuchung der Ursachen der Emissionen für jede Quelle
- Quantifizierung der Emissionsmengen für jede Quelle
- Validierung der Ergebnisse über eine Massenbilanz

Eine geeignete Rangliste der einzelnen definierten Teilströme (d. h. die einzelnen Abwasser- und Abgasteilströme) in Verbindung mit ihren Charakteristiken und ihren Schadstofffrachten ist der entscheidende Teil der Bestandsaufnahme und eine zielführende Grundlage für die Ermittlung des weiteren Potenzials zur Reduzierung der Emissionen (siehe Abschnitt 2.2.1.3). Die entsprechenden Ströme oben auf der Rangliste sind die wichtigsten Kandidaten für die wirksamsten Maßnahmen zur Emissionsreduktion.

Bei Chemiestandorten können Maßnahmen zur Emissionsreduktion am besten für solche Prozesse umgesetzt werden, bei denen ein optimales Verhältnis von Umweltnutzen und Kosten erreicht wird. Bei bestehenden Anlagen könnten nicht optimale Eliminationsraten für untergeordnete Emissionsströme mit nicht bedeutenden Frachten toleriert werden, wenn dafür die Anstrengungen auf diejenigen Ströme konzentriert werden, die bedeutende Frachten aufweisen. Dadurch werden die Emissionen und die Umweltauswirkung insgesamt reduziert.

2.2.1.2.1 Gesamtabwasserbewertung (WEA)

Abwassereinleitungen werden üblicherweise auf der Basis von physikalischen und chemischen Eigenschaften, wie CSB, BSB, abfiltrierbare Stoffe, pH-Wert und Konzentrationen für spezifische gefährliche Stoffe bewertet und reglementiert. Diese Eigenschaften liefern eine solide Grundlage für die Überwachung von Abwässern, die relativ wenige und gut charakterisierte Schadstoffe mit wohl definierten und verstandenen toxikologischen Eigenschaften enthalten. Es ist jedoch manchmal sehr schwierig, die Umweltrelevanz von komplexen und sich ändernden Abwässern auf der Grundlage ihrer Zusammensetzung und ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften zu bewerten.

Die Gesamtabwasserbewertung ist eine Methodik zur Beurteilung von komplexen Abwasserströmen und wird zusätzlich zur Verwendung von Leit- und Summenparametern wie CSB, AOX oder EOX verwendet. Das Ziel besteht darin, den möglichen gefährlichen Charakter von Abwässern zu bewerten. Die Überwachung wäre unzureichend, wenn man sich nur auf die chemischen Hinweise durch diese Summenparameter oder auf die für individuelle Chemikalien festgelegten Grenzwerte verlässt. Die Gesamtabwasserbewertung stellt ein zusätzliches und vielleicht ein sogar direkteres Mittel zur Bewertung von möglichen Auswirkungen von Abwässern auf die aquatische Umwelt zur Verfügung und spielt möglicherweise eine zunehmende Rolle bei der Regelung von Abwässern, indem sie vielleicht herkömmliche Ansätze zur Bewertung des Abwassers im Rahmen der Überwachung und der Risikobeurteilung ergänzt und möglicherweise ersetzt. Die Zusammenarbeit und das gegenseitige Verständnis von Genehmigungsbehörde und Einleiter sind zur Sicherstellung einer geeigneten und angemessenen Überwachung von komplexen Abwassereinleitungen essenziell.

Die biologischen Testmethoden und Bioassay-Verfahren werden für die Bewertung der Gesamtabwassertoxizität verwendet, z. B. Fisch-, Algen-, Bakterien- und Krebstier-Biotests. Ihr Vorteil im Vergleich zu chemischen Analysen von einzelnen Stoffen ist die Bestimmung der toxischen Eigenschaften von Wasserproben in einer integrierten Art und Weise. Wechselwirkungen, die in Anwesenheit von verschiedenen Schadstoffen auftreten, werden damit direkt erfasst. Mit biologischen Testmethoden kann die Umweltrelevanz eines komplexen Abwassers bestimmt werden. Dies ist normalerweise schneller und kostengünstiger als die aufwändige chemische Charakterisierung und vereinfacht dadurch die rechtliche Regelung. Sie erfassen einen Bereich von Stoffen und liefern Ergebnisse, die sehr leicht interpretiert werden können. Außerdem kann auf die Effizienz der Abwasserbehandlungsanlagen hinsichtlich der Elimination toxischer Stoffe geschlossen werden.

Die Wahl der Bioassay-Verfahren und die Wahl des Versuchsplans hängen von der Anwendung ab, d. h. ob die Ergebnisse für die Gefahrenabschätzung, Überwachung oder für die Feststellung der Einhaltung von Anforderungen verwendet werden. Bioassay-Verfahren für verschiedene Anwendungen dürften verschiedene Anforderungen haben.

Es liegt sehr viel Erfahrung zu akuten Toxizitätsmessungen vor und es bestehen zwei Verfahrensweisen, die üblicherweise zur Beurteilung von Toxizitätsdaten eingesetzt werden:

- Beim EC_x/LC_x-Ansatz wird eine statistische Analyse der Daten eingesetzt, wobei mindestens fünf Datenpaare für die Konzentration/Wirkung zwischen 0 und 100 % Wirkung benötigt werden.
- Der LID-Ansatz (kleinste Verdünnung ohne Effekt) besteht in der Verdünnung des Original-Abwasserstroms bis zu einem Verdünnungsgrad, bei der keine Effekte mehr beobachtet werden, d. h. der Ansatz ist dem 1/NOEC äquivalent. Es ist keine Konzentrations-Wirkungs-Beziehung erforderlich, wodurch das Testverfahren einfacher ist. Eine statistische Beurteilung und Vertrauensbereiche sind jedoch nicht verfügbar.

Die Gesamtabwasserbewertung (GAB) liefert durch Einsatz von chemischen, physikalischen und/oder biologischen Verfahren Informationen zu Abwässern und ihrem Potenzial für biologische Effekte. Die Methodik der GAB zielt auf die Bestimmung möglicher schädlicher Effekte von Abwässern ab und benutzt im Grunde die gleichen Wirkparameter, die beim stoffbezogenen Ansatz Verwendung finden:

- Akute Toxizität
- Mutagenität oder (vorzugsweise) Genotoxizität
- chronische Toxizität
- Bioakkumulation
- Persistenz oder (biologische) Abbaubarkeit.

Hinsichtlich des Gewässerschutzes geben Chemikalien, die persistent (P), toxisch (T) und/oder bioakkumulativ (B) sind, zu besonderer Besorgnis Anlass. Der chemisch orientierte Ansatz konzentriert sich auf die Messung von gefährlichen Stoffen, die, ausgewählt und den P-T-B-Kriterien folgend, priorisiert wurden. Ein sorgfältig ausgearbeitetes GAB-Programm kann bei komplexen Abwässern dem Umweltmanagement integrierte Maßnahmen liefern. Die Vorteile der Verwendung biologischer Wirkparameter sind:

- Mit der GAB werden alle Verbindungen im Abwasser, unabhängig von ihrem Ursprung, durch chemische Analysen erfasst. Die Verbindungen müssen nicht notwendigerweise identifizierbar sein. Nebenprodukte und Metabolite werden ebenfalls mitbewertet.
- Toxische Effekte auf aquatische Organismen werden direkt erfasst; Wechselwirkungen werden auch berücksichtigt.
- Die Quellen gefährlicher Abwässer (Produktionsschritte oder besonders relevante Stellen) innerhalb des Industriestandorts können in vielen Fällen ermittelt werden (Zurückverfolgung).
- Die Anstrengungen, die zur Durchführung einer GAB erforderlich sind, sind mit der umfassenden Analyse einzelner Substanzen in einem komplexen Abwasser vergleichbar.

Die oben genannten Vorteile sind mehr oder weniger wissenschaftlicher Art, aber die GAB kann auch die täglichen Produktionspraktiken unterstützen:

- Eine Kombination von direkten und indirekten Messungen eines Bereichs potenzieller Effekte kann durch das Umweltmanagement genutzt werden, besonders wenn die Abwässer Stoffe enthalten, für die mit Blick auf ihre Persistenz, Bioakkumulation und Toxizität eine schlechte Erkenntnislage gegeben ist.
- Während die Toxizitätsergebnisse einfach verwendet werden können, werden bioakkumulative und persistente Stoffe eines Abwassers nicht durch unmittelbare Effekte sichtbar; vielmehr ist für sie eine chronische Expositionsbewertung relevant.
- Sie liefert Informationen zu potenziellen Umweltrisiken und stellt den Betreibern und den Genehmigungsbehörden brauchbare Informationen zur Verfügung.
- Mit spezifischen Techniken kann sie zur Identifizierung von gefährlichen Stoffen im Abwasser benutzt werden und bietet dem Betreiber Hilfestellung zur Reduzierung der Ableitung von solchen Stoffen.

Die Anwendung der GAB stellt eine Herausforderung an die Wissenschaft dar. Sie beinhaltet:

- einen permanenten Schwerpunkt hinsichtlich toxischer P-T-B-Stoffe in Verbindung mit einem Mangel an standardisierten Tests zur Bestimmung der Bioakkumulation und Persistenz
- grundsätzlich berücksichtigt die GAB den Schutz von Sedimenten und die Eintragspfade in die Nahrungskette nicht; diese Effekte können jedoch in einem breiter angelegten Verfahren zur Bewertung ökologischer Risiken unersucht werden
- die Mitteilung der Ergebnisse der GAB ist im Zusammenhang mit vorübergehenden und regionalen Abwasserprobenahmen, angewandten Testmethoden, den getroffenen Annahmen und den eingesetzten statistischen Verfahren für die Auswertung der Daten wichtig

Im Allgemeinen kann die GAB innerhalb des UMS als Instrument verwendet werden. Es liefert detaillierte Informationen über die Schadstoffcharakteristiken eines Abwassers. Wie in Abschnitt 2.2.1 erwähnt, ist es praktisch unmöglich, die Emission von jedem Schadstoff in einem Abwasserstrom zu quantifizieren. Allerdings kann ein sorgfältig ausgearbeitetes GAB-Programm den Betreibern integrierte Maßnahmen hinsichtlich der Abwasserqualität liefern. Die GAB kann eine der angewandten Maßnahmen in einem Abwasserkataster darstellen, wie es in Abschnitt 2.2.1.2 beschrieben ist.

Potenzielle Anwendungen der GAB beinhalten:

- Regelungen oder Anleitungen zur Abwassertoxizität
  Einige Gesetzgeber haben für die Toxizität in Einleitungsgenehmigungen Zahlenwerte festgelegt, während andere die Toxizität als Planungs- und Bewertungsinstrument einsetzen. Die Einführung von Toxizitätskriterien stellt die beständige Bewertung von Abwässern sicher: Vollzug oder Managementmaßnahmen erfolgen normalerweise nur dann, wenn das Abwasser wiederholt den Toxizitätskriterien nicht genügt. Durch die Ergänzung herkömmlicher chemischer Abwasserdaten können weniger umständliche Ansätze, unter Berücksichtigung der Toxizität, die Unsicherheiten bezüglich der Risiken von Abwassereinleitungen reduzieren. Zusätzlich zu den Toxizitätsdaten kann die Untersuchung der Persistenz und der Bioakkumulation in gleicher Weise benutzt werden[4].
- Dem Umweltrisiko von Einleitungen in Gewässer eine Rangfolge geben
  Die GAB kann zur Abschätzung relativer Risiken durch mehrere Einleiter mit dem Ziel angewandt werden, die Vorsorgemaßnahmen gegebenenfalls zu priorisieren.
- Identifizierung der Toxizität/Bewertung von Minderungsmaßnahmen
  Die Identifizierung der Toxizität/Bewertung von Reduzierungsmaßnahmen wird zur Feststellung der Ursache der Toxizität eines Abwassers und zur Identifizierung der Maßnahmen zu ihrer Verminderung auf ein akzeptables Niveau benutzt (siehe http://www.setac.org/wettre.html). Die Bewertung der Maßnahme zur Reduzierung der Toxizität kann als standortspezifische Untersuchung definiert werden, die als stufenweises Vorgehen folgende Schritte vorsieht [5] :
  - Ermittlung des Stoffes, der die Abwassertoxizität verursacht
  - Isolierung der Toxizitätsquelle
  - Abschätzung der Wirksamkeit der Maßnahme zur Verringerung der Toxizität
  - Bestätigung der Reduktion der Abwassertoxizität.

  Die Toxizität ist als ein Bündel von Vorgehensweisen zur Ermittlung spezifischer Verbindungen zu verstehen (und kann Teil der für die Reduktion der Toxizität angewandten Instrumente sein). Die Reduktion der Toxizität auf ein akzeptables Niveau kann durch die Identifizierung und Verminderung der Toxizitätsquelle bewerkstelligt werden oder durch die Ermittlung und Einführung einer Behandlungsstrategie zur Reduktion der Toxizität auf ein akzeptables Niveau. Der Ansatz der Identifizierung der Toxizität/Bewertung von Reduzierungsmaßnahmen kann von sehr einfachen bis zur sehr komplexen Maßnahmen reichen. Sie liefern dem Betreiber ein logisches Verfahren, bedeutende Toxizitätsprobleme in Angriff zu nehmen. Die Bewertung der Maßnahmen zur Reduktion der Toxizität kann eine Anleitung für Anstrengungen von Ingenieuren, die die Abwasserbehandlung konzipieren, sein, sich auf die Minimierung der Kosten für die Maßnahmen zur Verbesserung des Abwassers zu konzentrieren. Derartige Studien sollten jedoch von erfahrenem Personal mit guter laborseitiger Unterstützung (Verfügbarkeit von chemischer Analytik und von Toxizitätstests) durchgeführt werden. Definitionsgemäß wird mit der Identifizierung der Toxizität/Bewertung von Reduzierungsmaßnahmen die Toxizität untersucht, aber auch die Merkmale Persistenz und Bioakkumulation können dabei mitberücksichtigt werden.
- Priorisierung von Rückstandsbehandlungsmaßnahmen
  Ansätze zur Identifizierung/Reduktion (wie oben beschrieben) können zur Vorhersage der Wirksamkeit verschiedener Rückstandsbehandlungsmaßnahmen verwendet und diese entsprechend ihrem Beitrag zur Reduktion der Gefährdung des Abwassers in eine Reihenfolge gebracht werden. Beispielsweise können Toxizitätsdaten zu einer integrierten Maßnahme für die vorgeschlagene Verbesserung der Rückstandsbehandlung führen (z. B. Toxizitätsuntersuchungen von Abwässern aus Pilot-Abwasserbehandlungsanlagen). Diese Art Information ist für die Entscheidungsträger hilfreich, das Optimum hinsichtlich der Investition in die Behandlung von Rückständen (Abwasser) herauszufinden.
- Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verbesserung der Behandlung
  Sobald in einer Anlage das Behandlungssystem für Rückstände (Abwasser) nachgerüstet wurde, können die Toxizität und andere Untersuchungen des Abwassers für eine gewisse Betriebsdauer zur Beurteilung der sich mit der Zeit einstellenden Verbesserungen eingesetzt werden. Eine vergleichende Studie zur Toxizität von unterschiedlichen Abwässern zeigte, dass Verbesserungen der Behandlung mit herkömmlichen Ansätzen das Ausbleiben einer akuten Toxizität nicht garantieren [6].

---

[4] Die Ansätze sind beschrieben in: de Maagd, R.G.-J. 2000. Bioaccumulation tests applied in whole effluent toxicity testing. Env. Toxicol. & Chem. 19(1): 25-35.

[5] USEPA. 1991. Technical support document for water quality based toxics control. Washington DC: Office of Water. EPA/505/2-90-001.

[6] Tonkes, M., P.J. F. de Graaf and J. Graansma· 1999. Assessment of complex industrial effluents in the Netherlands using a whole effluent toxicity (or wet) approach. Water Science and Technology 39 (10-11): 55.

- Zurückverfolgen der Auswirkungen der betroffenen Umweltkompartimente
  Wenn der Zustand eines betroffenen Umweltkompartiments negative Einflüsse zeigt, kann die GAB (oft innerhalb eines Konzentrationsbereichs, der der Verdünnung im betroffenen Umweltkompartiment entspricht) eingesetzt werden, um den Versuch zu unternehmen, Ursache und Wirkung herauszufinden. Beispielsweise könnte die Hypothese, dass der schlechte Zustand der benthischen Lebensgemeinschaft durch eine Abwassereinleitung verursacht wurde, durch eine sorgfältig konzipierte GAB überprüft werden. Außerdem können Verfahren zur Abwasserbewertung für die Beurteilung des betroffenen Umweltkompartiments genutzt werden, was einen direkten Vergleich der beiden Systeme erlaubt.
- Standortspezfische Gefahren-/Risikobewertung
  Das durch ein Abwasser bedingte Umweltrisiko könnte durch die Anwendung eines Ansatzes zur Risikobewertung vorhergesagt oder abgeschätzt werden. Dabei wäre zur Bewertung der biologischen Wirkeffekte eine in Frage kommende Methode die GAB[7]. Es wäre dabei wichtig den Versuch zu unternehmen, jegliche biologische Wirkungen aus dem GAB-Ansatz mit im Feld gemessenen biologischen Wirkungen auf aquatische Lebensgemeinschaften zu validieren [8].

Wie in den vorgenannten Beispielen dargestellt, könnte die GAB für Entscheidungen über BVT auf verschiedene praktische Art und Weise herangezogen werden. Die zuständigen Personen können darüber entscheiden, welche Anwendungskombination am besten ihrer Überwachungspolitik und –praxis entspricht. Die GAB unterstützt die meisten Ansätze eines Abwassereinleitungsmanagements, ganz gleich, ob es streng emissionsorientiert oder mit einem Gewässergüte-orientierten Ansatz verknüpft ist.

Die GAB wird sowohl innerhalb als auch außerhalb der EU weithin angewandt. Einer der wichtigsten Unterschiede zwischen den von jedem Land angewandten Ansätzen ist die Kombination und die Art der eingesetzten Testmethoden (Toxizität/Genotoxizität, Persistenz und/oder Bioakkumulation). In der EU befindet sich die Einführung der GAB im rechtlichen Zusammenhang größtenteils auf der Forschungs- und Entwicklungsebene, aber die nachstehend dargestellten Beispiele zeigen Anwendungsbereiche oder Ansätze der GAB:

- In Deutschland werden die akute Toxizität und Genotoxizität routinemäßig als ökologische Abwassergrenzwerte in mehreren unterschiedlichen Industriebereichen [cww/tm/130] eingesetzt und es läuft auch ein Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur GAB (z. B. Entwicklung von Fischeitests).
- Seit sechs Jahren bestehen in Irland für Abwassereinleitungen in Gewässer für IVU-Anlagen/Betriebe verbindliche Emissionsgrenzwerte in Form von Toxizitätseinheiten (TUs). Die TU-Grenzwerte reichen von 5 bis 10 und sind in den BATNEEC Guidance Documents [cww/tm/95] für die verschiedenen Industriebereiche veröffentlicht. Außerdem können indirekteinleitende Industrien auch dazu angehalten werden, eine Kombination von Toxizitäts- und Atmungstests durchzuführen.
- In Schweden wird die Charakterisierung von Abwässern (einschließlich der GAB) zur Bewertung der Eignung der Abwasserbehandlung in einem bestimmten Fall eingesetzt. Dies wird üblicherweise in Form einer Überprüfung neuer Produktionsanlagen (betriebsinterne und end-of-pipe-Anlagen) als Teil des Genehmigungsverfahrens durchgeführt. Dieser Ansatz kann jedoch jederzeit zur Feststellung der Notwendigkeit weiterer Anlagen eingesetzt werden.
- In Großbritannien wird gegenwärtig stufenweise die direkte Toxizitätsbewertung für Abwassereinleitungen eingeführt[9]. Dafür hat Großbritannien ein umfangreiches Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprogramm aufgelegt.
- In den Niederlanden steht man kurz vor dem Abschluss einer GAB-Forschungs- und Entwicklungsphase, die die (Geno-)Toxizität, Persistenz und Bioakkumulation gleich gewichtet. Die GAB wird in das Rechtssystem im Jahre 2005 eingeführt.

OSPAR (Oslo- und Paris-Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt und des Nordostatlantiks) hat sich 1994 durch die Arbeitsgruppe für Punktquellen und diffuse Quellen (PDS) in einem breit angelegten europäischen Rahmen des Problems der ökotoxikologischen Bewertung von Abwasser angenommen. Im November 1999 hat das deutsche Umweltbundesamt ein Hintergrundpapier zur Anwendung der GAB für die Abwasserbeurteilung verfasst [cww/tm/130]. Im Jahre 1999 wurde eine Unter-Expertengruppe (IEG) speziell für die Ent-

---

7 Chapman, P.M. 2000. Whole effluent toxicity testing- usefulness, level of protection, and risk assessment. Env. Toxicol. & Chem. 19(1):3-13

8 Grothe, D.R., K.L. Dickson and D.K. Reed-Judkins (eds). 1996. Whole effluent toxicity testing: an evaluation of methods and prediction of receiving system impacts. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Pensacola. FL. USA.

9 Boumphrey, R., Tinsley, D., Forrow, D. and R. Moxon. 1999. Whole Effluent Assessment in the UK. OSPAR Workshop on Whole Effluent Assessment, Lelystad, Netherlands, 28-29 October, 1999.

wicklung der GAB im Rahmen der OSPAR-Strategie für gefährliche Stoffe eingesetzt (OSPAR, 2000, http://www.ospar.org). Die OSPAR-IEG prüfte den Einsatz der GAB für unterschiedliche Industriebranchen (bis heute Zellstoff- und Papierindustrie und die pharmazeutische Industrie). Weiterhin hat sich die IEG den Testmethoden für die Bestimmung der Persistenz und Bioakkumulation und auch der Genotoxizität und der endokrinen Störungen angenommen (beide sind in Vorbereitung).

Zusammenfassend ist die GAB ein sinnvolles Instrument für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, wird aber die herkömmliche Überwachung auf Basis chemischer Parameter eher ergänzen als ersetzen. Die Erfahrung zeigt, dass die Einführung von Maßnahmen für P-T-B-Stoffe im Rahmen eines sorgfältig ausgearbeiteten GAB-Programms zu einer Reduktion der Emissionen von gefährlichen Stoffen ins Abwasser führt. Der Schlüssel dazu liegt in der Ausarbeitung der GAB zur Ergänzung anderer Überwachungsmaßnahmen im Rahmen eines wirksamen Umweltmanagementsystems.

2.2.1.2.2 Reduktion des Wasserverbrauchs und der Abwassereinleitung

Wegen der in vielen Gebieten der EU zunehmenden Bedeutung ist es angezeigt, der Wassereinsparung (d. h. Reduktion des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls) und/oder der Wiederverwendung von Wasser als einem Managementinstrument einen speziellen Abschnitt zu widmen. Beispielsweise trägt die Wassereinsparung oft dazu bei, die nachteilige Auswirkung der Schadstoffverlagerung vom Abgas ins Abwasser zu reduzieren. Die Aussage, dass das Ausmaß der Wasserverwendung und des Wasserrecyclings mehr durch die Kreativität und den Willen der beteiligten Akteure als durch technische Schwierigkeiten begrenzt wird, dürfte keine Übertreibung sein. Dies hängt jedoch von den örtlichen Begebenheiten ab. Folgende Punkte sind zu berücksichtigen, z. B.:

- Entwicklung von Strategien zur Minimierung des (Frisch-)Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls im Produktionsprozess/in den Produktionsprozessen [cww/tm/67d], wie:
  - Prozessänderung, die zu einer Verminderung des Wasserbedarfs führen kann, z. B. Substitution der Wasser- durch Luftkühlung.
  - direktes Abwasserrecycling, d. h. Wiederverwendung von gering belastetem Abwasser in anderen Prozessen, die dadurch nicht beeinträchtigt werden. Dies führt zu einer Reduktion des Frischwasserverbrauchs und des Abwasseranfalls ohne Änderung der Schadstofffracht
  - Vorbehandlung des Abwassers und anschließende Wiederverwendung (im gleichen oder in einem anderen Prozess). Dies führt zu einer Reduktion des Frischwasserverbrauchs, des Abwasseranfalls und der Fracht an Schadstoffen.

- Überprüfung der Abgasbehandlungstechniken (z. B. Nasswäscher, Biowäscher, Kühlaggregate mit Kühlwasser, Nasszyklone, nasse Elektrofilter) hinsichtlich ihres Frischwasserverbrauchs und, wenn möglich, Vermeidung des Frischwasserverbrauchs, wenn seine Verfügbarkeit begrenzt ist oder das betroffene Gewässer auf Beeinträchtigungen empfindlich reagiert.

Das Vorgehen für die Reduktion des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls folgt im Allgemeinen dem in Abbildung 2.4 dargestellten Ansatz [cww/tm/67d].

Als erster Schritt ist eine Bilanz des Wasserverbrauchs und der wichtigsten Schadstoffe, die eine unmittelbare Wiederverwendung verhindern, durchzuführen. Soweit die Datenerfassung im Rahmen des Abwasserkatasters keine übereinstimmenden Angaben liefert, ist in Kombination mit zusätzlichen, sorgfältig durchgeführten Messungen ein weiterer Abgleich der Daten erforderlich.

Auf der Basis der vorhandenen Massenbilanzen können verschiedene Möglichkeiten zur Minimierung des Wasserverbrauchs entwickelt und auf ihre Funktionsfähigkeit hin beurteilt werden. Zur Minimierung der Wasser/Abwassermenge könnte die Sammlung und Mischung von Strömen aus mehreren unterschiedlichen Produktionsprozessen und ihr Recycling als Mischwasser sinnvoll sein; es erhöht jedoch die Wahrscheinlichkeit von Ausfällungen und Korrosion. Instrumente zur Umsetzung dieser Prozessentwicklungen werden in Abschnitt 2.2.1.3 beschrieben.

Die Anreicherung von Schadstoffen, die durch interne Vermeidungsmaßnahmen oder Reinigungstechniken nicht entfernt werden können, darf jedoch nicht übersehen werden. Die Schadstoffe können die Wiederverwendung von Wasser im Kreislauf einschränken.

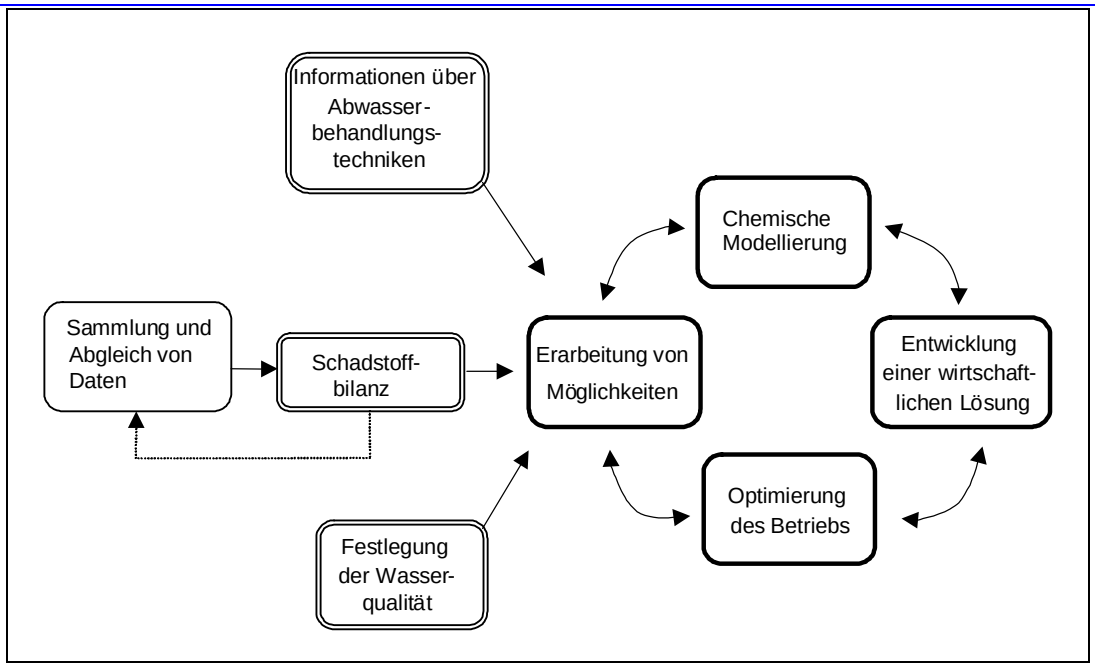

Abbildung 2.4: Grundsätzliches Vorgehen zur Verminderung des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls

2.2.1.2.3 Quantifizierung der Abgasemissionen

Die Abgasemissionen aus einigen Quellen können verschiedene Ursachen haben, weshalb die aus jedem Vorgang resultierenden Emissionen getrennt untersucht werden sollten, um die Gesamtemission aus dieser Quelle quantifizieren zu können. Weiterhin bedeutet die Verminderung an der Quelle eine stärkere Konzentration auf die Ursache der Emissionen im Vergleich auf die Stelle, an der sie in die Umwelt entlassen werden.

Quellenmäßige Quantifizierung der Emissionen

Emissionen können auf die mit der EU-Richtlinie 1999/13/EC (VOC-Richtlinie) [cww/tm/88] festgelegten Art und Weise quantifiziert werden.

Zur Erstellung eines Abgaskatasters müssen die Emissionen aus allen potenziellen Quellen quantifiziert werden. Dies kann entweder durch Abschätzung, Berechnung oder Messung entsprechend der Emissionsart und der relativen Bedeutung im Verhältnis zur Gesamtabgasemission erfolgen. Einige Emissionen werden am besten an der Emissionsstelle abgeschätzt, andere durch den ursächlichen Prozess. Nicht gefasste Emissionen sind messtechnisch nur schwierig zu bestimmen. In diesem Fall ist die Quantifizierung über den für die Emission ursächlichen Prozess erforderlich.

Folgende Beispiele stehen zur Veranschaulichung zur Verfügung:

- Die Emission aus dem Produkt (normalerweise VOC) kann bei Kenntnis des flüchtigen Anteils des Produktes abgeschätzt werden. Beispielsweise ist der Lösemittelgehalt des Produktes genau definiert und die verkauften und rückgewonnenen Mengen sind auch bekannt.

- Soweit gasförmige Stoffe im Abfall enthalten sind, sollte ihr Gehalt gemessen oder anderweitig festgestellt werden, um die möglicherweise emittierte Menge berechnen zu können. Dies hängt vom angewandten Verfahren zur Entsorgung des Abfalls ab.

- Gefasste Emissionen in die Atmosphäre können durch geeignete Messung des Luftvolumenstroms und der Abgaskonzentration (vorzugsweise an verschiedenen Stellen des Prozesses) bestimmt werden. Die Durchführung dieser Messung kann jedoch relativ teuer sein und kann durch Schwierigkeiten an die Emission heran zu kommen, durch das Auftreten von Wasserdampf oder Staub oder durch andere Gegebenheiten erschwert sein. Sie kann nur eine Momentaufnahme der Verhältnisse darstellen, die oft zeitlichen Änderungen unterliegen. Eine Berechnungsmethode ist deshalb üblicherweise dort zu bevorzugen, wo eine Messung nicht möglich ist. Diese Möglichkeit hängt von der Ursache der Emission ab. Wenn beispielsweise eine gefasste Emission durch das Verdampfen eines Lösungsmittels im Laufe eines Trocknungsprozesses (VOC-Emission) verursacht wird, ist normalerweise die Berechnung der verdampften Lösungsmittelmengen einfacher als die Messung des Lösungsmittelgehaltes im Produkt vor dem Trocknen, während die Schadstoffe im Abgas aus Verbrennungsprozessen (NO_x, SO_x, etc.) oder gefährliche Schadstoffe Messungen am Kamin erfordern.

- Bei einem System zur Emissionsminderung können nicht zurückgehaltenen Emissionen bei Bekanntsein der dem Reinigungssystem zugeführten Mengen und dem Abscheidegrad des Systems berechnet werden.

- Nicht gefasste Emissionen sind naturgemäß schwierig und oft nur mit finanziell hohem Aufwand zu messen und müssen deshalb durch Betrachtung der Emissionsvorgänge und mit den entsprechenden Beurteilungsverfahren bestimmt werden. Trotzdem sollte vor dem Verzicht auf die Möglichkeit einer Messung deren Machbarkeit überprüft werden.

Prozessbezogene Quantifizierung der Emissionen

Die prozessbezogene Quantifizierung der Emissionen auf der Grundlage ihrer Quelle dürfte oft die einzige praktikable Lösung sein, besonders für ungefasste Emissionen. Dies gilt aber oft auch für gefasste Emissionen. Für die Durchführung dieser Berechnungen gibt es verschiedene Verfahren. Alle Berechnungsverfahren liefern Schätzungen, die in einigen Fällen lediglich die Größenordnung angeben.

Beispiele sind:

- Die Quantifizierung sollte auf Basis eines genauen Verständnisses des praktizierten Prozesses erfolgen. In vielen Fällen liefert dies eine ziemlich genaue Abschätzung der emittierten Menge, die manchmal durch Messungen bestätigt werden sollte. Bei der Durchführung der Berechnungen und Messungen sollte auf das Ausmaß der Schwankungen geachtet werden, die durch den Prozess gegeben sein können. Dies können Schwankungen über die Zeit sein – während diskontinuierlichen Prozessen schwankt die emittierte Menge – oder durch die Art des Produktes auftreten – durch verschiedene Produktarten werden unterschiedliche Mengen emittiert. Berechnungen sollten dies in Betracht ziehen und bei der Durchführung von Messungen müssen die Betriebsbedingungen im Laufe jeder Messung sorgfältig festgehalten werden. Messungen müssen auch in ausreichender Zahl durchgeführt werden, um den gesamten Schwankungsbereich zu erfassen. Zur Berücksichtigung der jährlichen Produktion und des Einflusses der unterschiedlichen Produktsorte sollte eine Jahresmassenbilanz erstellt werden.

- Die Berechnung der Emissionen aus Lagertanks kann auf der Basis der Methode durchgeführt werden, die vom amerikanischen Umweltbundesamt (USEPA) [cww/tm/89] entwickelt wurde. Die Durchführung der Berechnungen ist mühsam und erfordert die Kenntnis einiger meteorologischer Daten, die vom örtlichen meteorologischen Institut zu bekommen sind. Bedeutende Emissionen aus der Lagerung können bei oberirdischen Lagertanks anfallen. Dagegen sind die Atmungsverluste aus unterirdischen Tanks oder aus Tanks, die unter Überdruck stehen, beträchtlich geringer. Die Verluste bei Betriebsvorgängen hängen von ihrer jährlichen Häufigkeit ab (d. h. wie oft das Volumen eines Tanks im Laufe des Jahres gefüllt/entleert wird) und sind bei wenigen Betriebsvorgängen niedrig. Durch Anwendung des Gaspendelsystems beim Befüllen können Verluste vermieden werden. Deshalb sind in vielen Lagereinrichtungen die Emissionen im Vergleich zu anderen Emissionen gering. Vor der Durchführung von detaillierten Berechnungen ist es ratsam, die Lagerungsverluste auf der Grundlage von Materialbilanzen abzuschätzen. Soweit detaillierte Berechnungen erforderlich sind, wird die Anwendung des Tank-Computerinstruments (TANKS) [cww/tm/90], wie es durch die USEPA entwickelt wurde, dringend empfohlen. Es ist eine rechnergestützte Version des USEPA-Berechnungsverfahrens.

- Die Emissionen aus dem Umgang mit Stoffen können mit der Annahme des Dampfgehaltes der aus den zu füllenden Behältern entweichenden Luft im Verhältnis zum Dampfdruck des umgeschlagenen Produktes bei der gegebenen Umschlagstemperatur, multipliziert mit dem Sättigungsfaktor, berechnet werden. Der Sättigungsfaktor hängt vom Verfahren des Umschlags ab und stellt das Ausmaß der Sättigung dar, das im Mittel während des Umschlagvorganges im Dampfraum erreicht wird. Sättigungsfaktoren für Straßentankfahrzeuge [cww/tm/72] sind:
  - Unterspiegelbefüllung in einen sauberen Frachttank: 0,5
  - Unterspiegelbefüllung in einen nassen Frachttank (bestimmungsgemäßer Betrieb): 0,6
  - Umschlagen im freien Fall (Spritzen): 1,45
    (ein Faktor von über 1 bedeutet eine Übersättigung, die durch Flüssigkeitströpfchen verursacht wird, die mit dem Dampf ausgetragen werden).

- Die Berechnungen von Emissionen aus undichten Stellen stützen sich auf die von der USEPA entwickelte Methode und reichen von einfachen (basierend auf der Zählung der undichten Stellen und den durchschnittlichen Emissionen je Stelle) bis hin zu komplexen Ansätzen (basierend auf der Korrelation zwischen gemessener Konzentration in ppm an der undichten Stelle und einer Leckagenrate, die für die Art des betrachteten Systems spezifisch ist). Eine zusätzliche Beschreibung steht mit dem USEPA-453 Protocol [cww/tm/152] zur Verfügung, das auch im IMPEL-Projekt „Diffuse VOC-Emissionen" [cww/tm/154] genau beschrieben ist. Diese Berechnungsverfahren liefern grobe Abschätzungen der tatsächlichen Emissionen und gewöhnlich ergibt eine verfeinerte Berechnungsmethode niedrigere Ergebnisse. Berechnungen auf der Grundlage der vorhandenen Anlagen sind die einzigen, die ohne Messungen mit einem Messgerät für organische Dämpfe an jeder möglichen Leckagestelle auskommen. Soweit diese Berechnungen für den jeweiligen Zweck zufrieden stellende Ergebnisse liefern, ist keine weitere Analyse erforderlich. Wenn die Leckageemissionen der Anlage bedeutend sind, sollte ein Überwachungs- und Wartungsprogramm [so genannte Lecksuche und Reparatur (LDAR)] eingeführt werden, das die Messung jeder potenziellen Leckagestelle vorsieht und mit dem die Möglichkeiten zur Reparatur der Leckagen ermittelt werden können. Diese Arbeiten erfordern eine Ausbildung für die Messungen und für das Festhalten der Ergebnisse in einer Datenbank und wären deshalb am besten von einem spezialisierten Auftragnehmer durchzuführen.

- Außerplanmäßige Emissionen im Zuge von Anfahr-, Abfahr- und Wartungsvorgängen sollten berücksichtigt werden. Diese hängen stark von der Verfahrensweise ab. Es gibt kein weithin akzeptiertes Verfahren zur Abschätzung dieser Emissionen. Sie können jedoch bei diskontinuierlichen Verfahren mit häufigen Schließ- und Öffnungsvorgängen von Behältern bedeutend sein. In diesen Fällen ist der praktikabelste Ansatz die Durchführung einer Messkampagne zur Quantifizierung der Emissionen, die mit jedem Verfahrensschritt verbunden sind.

- Nicht bestimmungsgemäße Emissionen sollten nicht auftreten. Treten sie dennoch auf, sind die damit verbundenen Lösemittelverluste in der Materialbilanz zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, diese Vorfälle zurück zu verfolgen und für jeden Vorfall eine Aufzeichnung der abgeschätzten Emissionen aufzubewahren.

2.2.1.3 Energie- und Stoffflussanalyse (EMFA)

Die EMFA umfasst ein ganzes Bündel von Instrumenten zur Optimierung des Energie-, Rohstoff- und Wasserverbrauchs sowie der Abwassereinleitung, mit denen systematisch die Energie- und Materialströme innerhalb der Produktionsprozesse verfolgt werden. Sie ist so entweder Teil oder eine Ausdehung der Bestandsaufnahme der Materialströme, wobei mit den erhaltenen Daten die notwendigen Schlussfolgerungen gezogen werden. Für die Unterstützung dieser Aufgabe steht Computersoftware unterschiedlicher Komplexizität zur Verfügung. Das übliche Vorgehen einer EMFA besteht aus:

- zunächst wird die Input/Output-Analyse des Prozesses erstellt
- schrittweises Wiederholen des Verfahrens zur Identifizierung des Verbesserungspotenzials mittels des quantitativen Vergleichs der Input- und Outputdaten mit den Zielwerten
- Simulation verschiedener Szenarien (Verfahrensauslegung) mit jeweiliger Abschätzung der Umweltauswirkung
- Ermittlung der `besten' Lösung entsprechend der zugrunde gelegten Ziele (Kosteneffizienz, Vermeidung von Rückständen, Einsparung von Ressourcen etc.).

Das Ziel für die Einführung des EMFA-Instruments ist der effiziente Betrieb der Prozesse und eine Verminderung ihrer Umweltauswirkung (z. B. Reduktion der Abwassereinleitung und/oder des Wasserverbrauchs) und letztlich auch Kosteneinsparungen.

Ein Beispiel für das Konzept der EMFA ist im Detail in Anlage 7.2 beschrieben.

2.2.2 Betriebliche Managementinstrumente

Während die Managementinstrumente für die Bestandserhebung alle notwendigen Informationen liefern, ohne die keine Entscheidungen über die wirtschaftliche Vermeidung von Rückständen, die Minimierung und/oder Behandlung vorstellbar sind, stellen die betrieblichen Managementinstrumente eine Grundlage zur Verfügung, diese Entscheidungen in die Tat umzusetzen.

2.2.2.1 Überwachung

Die Überwachung bildet eine Verbindung zwischen den Instrumenten der Bestandsaufnahme und des Betriebs, ist aber zudem mit strategischen und Sicherheitsinstrumenten verknüpft. Die durch die Instrumente der Bestandsaufnahme sich ergebende Menge an Informationen, z. B. das Kataster für die einzelnen Ströme, werden mit Hilfe von Überwachungssystemen und –programmen erfasst. Möglicherweise die wichtigste Aufgabe ist die Überwachung des bestimmungsgemäßen Betriebs der Produktions- und Behandlungsprozesse, um die Einhaltung der festgelegten Umweltziele zu überprüfen und um Unfälle (Ereignisse) zu identifizieren oder zurück zu verfolgen.

“Du kannst nicht managen, was Du nicht messen kannst.” Aus diesem Grund sind für die Bestimmung der Wirksamkeit eines UMS reale Daten über die genauen Auswirkungen der Maßnahmen auf die Umwelt sowie auf die Menschen am Industriestandort erforderlich. Deshalb ist die Erstellung eines planmäßigen, regelmäßigen Probenahme- und Überwachungsprogramms notwendig. Die zu überwachenden Parameter sollten folgendes beinhalten [cww/tm/132]:

- Punktquellen, diffuse und flüchtige Emissionen in die Luft, in das Wasser oder in die Kanalisation
- Abfälle, besonders gefährliche Abfälle
- Verunreinigung des Bodens, des Wassers und der Luft
- Einsatz von Wasser, Brennstoffen, Energie, Sauerstoff, Stickstoff und anderen Gasen (z. B. Argon)
- Emissionen von thermischer Energie, Lärm, Geruch und Staub
- Auswirkungen auf bestimmte Teile der Umwelt und der Ökosysteme (siehe z. B. Abschnitt 2.2.1.2.1),
- Unfälle am Standort und Beinahe-Unfälle
- Verletzungen von Beschäftigten
- Transportunfälle
- Nachbarschaftsbeschwerden

Die Überwachung ist nicht auf analytische Messungen beschränkt. Sie beinhaltet auch regelmäßige Wartungen, visuelle Prüfungen und Sicherheitsprüfungen.

Parallel zu diesem Dokument wird an einem BVT-Referenzdokument über die Überwachung gearbeitet, auf das der Leser für weiterführende Informationen verwiesen wird. Weiterhin wird die Überwachung in Bezug auf Abwasser und Abgas in Kapitel 3 behandelt; Grenzwerte für analytische Parameter sind in Anhang 7.4 aufgeführt.

2.2.2.2 Festsetzung und regelmäßige Überprüfung interner Zielsetzungen und Programme

Ein UMS erfordert die Erstellung eines Umweltprogramms, das globale, langfristige und interne, standortspezifische Ziele festlegt. Die globalen und langfristigen Ziele sind Teil der Firmenpolitik und sind deshalb in diesem BVT-Referenzdokument nicht enthalten, aber es wird betont, dass eine solche Politik ein notwendiges Element ist.

Die Parameter für die internen Zielsetzungen sollten entsprechend ihrer Bedeutung ausgewählt werden. Zur Begrenzung der Anzahl der Parameter sollte der Zweck der Festlegung von Zielen im Blick behalten werden,

d. h. es sollte ein optimaler Betrieb der Produktion und der Techniken zur Emissionsverminderung sichergestellt werden, bei gleichzeitiger Minimierung der Umweltauswirkung als Ganzes. Normalerweise ist die Festlegung von Zielniveaus für jegliche in Frage kommenden Parameter nicht notwendig, sondern die Verwendung von Leitparametern zur Charakterisierung der Emissionen. Die messbaren Zielwerte sollen in solch einer Art und Weise festgelegt werden, dass die Grenzwerte an der Emissionsstelle sowie die spezifischen örtlichen Bedingungen sicher eingehalten werden können.

Es gibt verschiedene Arten von Zielsetzungen, von denen eine Art die allgemeinen Anforderungen und eine andere die standortspezifischen Standards angibt. Beispiele für allgemeine Standards sind:

- Anforderungen der Umweltqualitätsziele (EQO) oder der Umweltqualitätsstandards (EQS) sowie der Technologiestandards und der guten Produktionspraxis (GMP)
- allgemeine Anforderungen an die Flussgebietsqualität (Wasserrahmenrichtlinie oder nationale Regelungen zur Wasserqualität)
- allgemeine Anforderungen für Emissionen in die Luft, internationale oder nationale Programme
- Anforderungen durch firmeninterne Standards für alle Standorte, unabhängig von den örtlichen Genehmigungsanforderungen.

Beispiele für standortspezifische Standards sind:

- Anforderungen durch Genehmigungsbedingungen (z. B. Sicherstellung der permanenten Einhaltung der Emissionsgrenzwerte)
- spezifische Begrenzungen des ökotoxikologischen Gehalts jeglicher Emissionen in die Umwelt gemäß den für die Umweltmedien (Oberflächenwasser, Luft) festgelegten Grenzwerte, z. B. sind in Deutschland die erreichbaren Werte für die in Gewässer eingeleiteten Abwässer[10]:
  - $T_F = 2$ (Fischtest)
  - $T_D = 4$ (Daphnientest)
  - $T_A = 8$ (Algentest)
  - $T_L = 16$ (Leuchtbakterientest)
  - $T_M = 1,5$ (Mutagenität).

  Als langfristiges Ziel für die Zukunft beabsichtigt die deutsche chemische Industrie (entsprechend der VCI-Erklärung vom Mai 2000 [cww/tm/166]) die weitere Reduktion der toxischen Auswirkungen ihrer eingeleiteten Abwässer und berücksichtigt dafür:
  - die akute Toxizität für Fische, Daphnien und Bakterien
  - die chronische Algentoxizität
  - die Mutagenität

  Sie strebt dabei an, dass ihre in die Gewässer eingeleiteten Abwässer einen Verdünnungsfaktor von $T_x = 2$ ($T_M = 1,5$) nicht überschreiten; salzbedingte Toxizitäten werden dabei nicht berücksichtigt.

Wenn Ziele festgelegt sind, sollte auch ein Maßnahmenplan für den Fall der Überschreitung eines Zielwertes während eines bestimmten Zeitraumes für einen oder mehrere Teilströme oder für die Emission in die Umwelt entwickelt werden. Diese Maßnahmen müssen klar festgelegt und die Verantwortlichen und die Zuständigkeit dafür bestimmt sein.

Beispiele für interne Ziele sind:

- kontinuierliche Reduktion der Schmutzfrachten,
- Einhaltung der Genehmigungsanforderungen,
- Reduktion der ökotoxikologischen Auswirkungen (siehe Abschnitt 2.2.1.2.1).

Die Rolle der Überwachung bei der Zielsetzung ist in Abschnitt 2.2.2.1 dargelegt.

[10] Die Toxizitätseinheiten (T-Werte oder manchmal G-Werte) werden als Verdünnungsfaktoren ausgedrückt, $T_X = 2$ bedeutet, dass zum Überleben der Testorganismen die Originalkonzentration auf die Hälfte verdünnt wird. Siehe auch Abschnitt 2.2.1.2.1.

Der dynamische Prozess zur Festlegung von Zielwerten, bei dem die chemische Industrie und die zugrunde gelegten Produktionsbedingungen Gegenstand kontinuierlicher Entwicklung und permanenter Änderungen sind, beinhaltet eine regelmäßige Überprüfung, ungeachtet der Einführung neuer gesetzlicher Anforderungen. Deshalb ist die Festlegung eines Programms zur Bewerkstelligung dieser Änderungen erforderlich. Das Ziel der regelmäßigen Überprüfung ist die kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung eines Chemiestandorts als Ganzes. Zur Erreichung dieses permanenten Ziels sollte ein Reduktionsprogramm aufgestellt werden, das folgende Elemente enthält:

- Eine wiederkehrende Beurteilung der Umweltmanagementpraxis in Verbindung mit der Betriebsweise und der Anlagenausrüstung unter Berücksichtigung von:
  - Umweltauswirkungen
  - geänderte rechtliche Anforderungen
  - öffentliche Bedenken
  - Einführung eines ständigen Verbesserungsprozesses
- Anreize für die Einführung wirtschaftlicher Maßnahmen und Ermittlung bedeutender Beiträge zur Emissionsreduzierung, wie:
  - Umlage der Kosten für die Abwasser- und Abgasbehandlung durch Einführung eines Abrechnungssystems, z. B. die Einführung eines internen 'Verursacher (der Verschmutzung)-Zahlt-Prinzips' für die Ableitung aus einzelnen Produktionseinheiten, die intern mit den Kosten für die Behandlungsanlagen entsprechend ihrem Verschmutzungsanteil verrechnet werden; dies ist ein geeigneter Anreiz zur Minimierung der Emissionen und auch zur Reduktion der anteiligen Behandlungskosten für die Produktionseinheit
  - interne Belohnungen (Bonuszahlung) für betriebliche Verbesserungsvorschläge durch die Beschäftigen
  - interner Wettbewerb für die Verminderung von Betriebsstörungen und -unfällen
- Einbeziehung von Zielsetzungen für die Vermeidung von Emissionen bei der Auslegung von neuen oder modifizierten Anlagen und Prozessen, wie:
  - Einführung des Recyclings von Ausgangsstoffen oder Produkten, wenn Anlagenänderungen vorgesehen sind
  - Einführung von Wassersparmaßnahmen unter den gleichen, oben genannten Bedingungen
- vorbeugende Wartung und geeignete Überwachungstechnik zur Minimierung von Emissionen und Verlusten
- Einführung von konstruktiven und betrieblichen Überwachungen und Vorgehensweisen mit Verfahrensvorgaben zur verstärkten Vermeidung, zur frühzeitigen Erkennung und Erfassung von unbeabsichtigten Leckagen/Freisetzungen entweder durch
  - messtechnische Überwachung oder
  - organisatorische Maßnahmen mit Personaleinsatz, wie regelmäßige Kontrollgänge oder durch Einbau von Auffangsystemen mit ausreichendem Auffangvolumen
- Untersuchung und Abschätzung eingetretener unbeabsichtigter Leckagen/Freisetzungen
- Unterrichtung der Beschäftigen und der Öffentlichkeit mit Informationen über Emissionen, erzielte Fortschritte bei der Reduktion von Emissionen und Zukunftspläne, die einen klar strukturierten Dialog zu den Anliegen und Ideen, sowohl der Beschäftigten als auch der Öffentlichkeit beinhalten sollten.

Die Überprüfung soll zu Entscheidungen zur Änderung oder gar zur Anpassung der Zielsetzungen oder der Umweltpolitik führen.

2.2.2.3 Wahl der Behandlungsmöglichkeiten

Mit den notwendigen Informationen über die von einem Chemiestandort ausgehenden Emissionen und den festgelegten Umweltzielen und –anforderungen besteht der nächste Schritt in der Auswahl von geeigneten Behandlungsmöglichkeiten. Das übliche Ziel besteht in der Ermittlung eines wirtschaftlichen Behandlungsverfahrens, das ein Höchstmaß an Umweltleistung bietet. Eine zweckdienliche Auswahl erfordert normalerweise Behandelbarkeits- und/oder Pilotstudien.

Die verfügbaren Behandlungsmaßnahmen werden im Allgemeinen nach folgenden Gesichtspunkten beurteilt und ausgewählt:

- die Charakteristiken des Emissionsmassenstroms, z. B.
  - Volumenstrom
  - Konzentration und Eigenschaften der Schadstoffe
  - Auftreten von Verunreinigungen
  - Temperatur
  - Druck
- die Menge des Anteils, der eine Behandlung erfordert
- die zu erreichenden Ziele, wobei die Rückgewinnung von Schadstoffen Vorrang hat
- rechtliche Anforderungen
- die für einen bestimmten Fall zur Verfügung stehenden Behandlungsmöglichkeiten.

Der Beurteilungs- und Auswahlprozess – die benötigten Daten stammen aus der Bestandsaufnahme der Abwasser- und Abgassituation (siehe Abschnitt 0) – führt stets zu zusätzlichen, standortspezifischen Schlussfolgerungen, die zu berücksichtigen sind, z. B.:

- örtliche Lage der Anlage
- Größe und räumliches Konzept des Standorts
- gegenwärtige umweltseitige und wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der betreffenden Anlagen, ihr Alter, Konstruktion und voraussichtliche Lebensdauer
- Potenzial und Ausmaß der Verfahrensintegration innerhalb einer Anlage oder zwischen Anlagen
- Art und Güte des betroffenen Umweltmediums
- Umweltauswirkung in Folge von bestehenden oder beabsichtigen Emissionen
- verbleibende Lebensdauer und die Leistungsfähigkeit einer bestehenden Emissionsminderungs-anlage
- Verfügbarkeit von Betriebsmitteln
- Sicherheit
- Begrenzungen und Einschränkungen einer Anlage durch andere rechtliche Vorgaben
- Ergebnisse der Analyse von Verlagerungseffekten (Wasserverbrauch, Abfallanfall, Energieverbrauch)
- Investitions- und Betriebskosten.

Bei abschließenden oder zentralen Behandlungsanlagen sollten Reduktionsmaßnahmen an der Quelle in Betracht gezogen werden. Als Ergebnis der vorgenommenen Betrachtungen wird ein geeignetes Behandlungssystem unter Berücksichtigung folgender Ansätze ausgewählt:

- Reduktionsmaßnahmen an der Quelle
- Erfassungs-(Kanalisations-)System
- Behandlungsverfahren.

Spezielle Abwasser- und Abfallprobleme werden in den Abschnitten 2.2.2.3.1 und 2.2.2.3.2 behandelt.

2.2.2.3.1 Wahl des Abwasserbehandlungssystems

Abbildung 2.5 gibt einen Entscheidungsbaum für die Identifizierung eines geeigneten Abwasserbehandlungssystems für einzelne Abwasserteilströme wieder [cww/tm/132]. Die gepunkteten Linien stehen für alternative Möglichkeiten.

Den nachfolgenden Fragen, die die wichtigsten Zielsetzungen der IVU-Richtlinie enthalten – Vermeidung, Minimierung und Behandlung – sollte für jede Abwasserart nachgegangen werden:

- Kann das Ausmaß und das Niveau der Verschmutzung durch prozessintegrierte Maßnahmen oder mit anderen Mitteln reduziert oder eliminiert werden?
- Ist eine Behandlung des gesamten Abwasserstroms erforderlich oder könnte auch ein Trennsystem sinnvoll sein?
- Ist der Abwasserstrom einer biologischen Behandlung zugänglich oder sollte er einer dezentralen Vorbehandlung zugeführt werden?

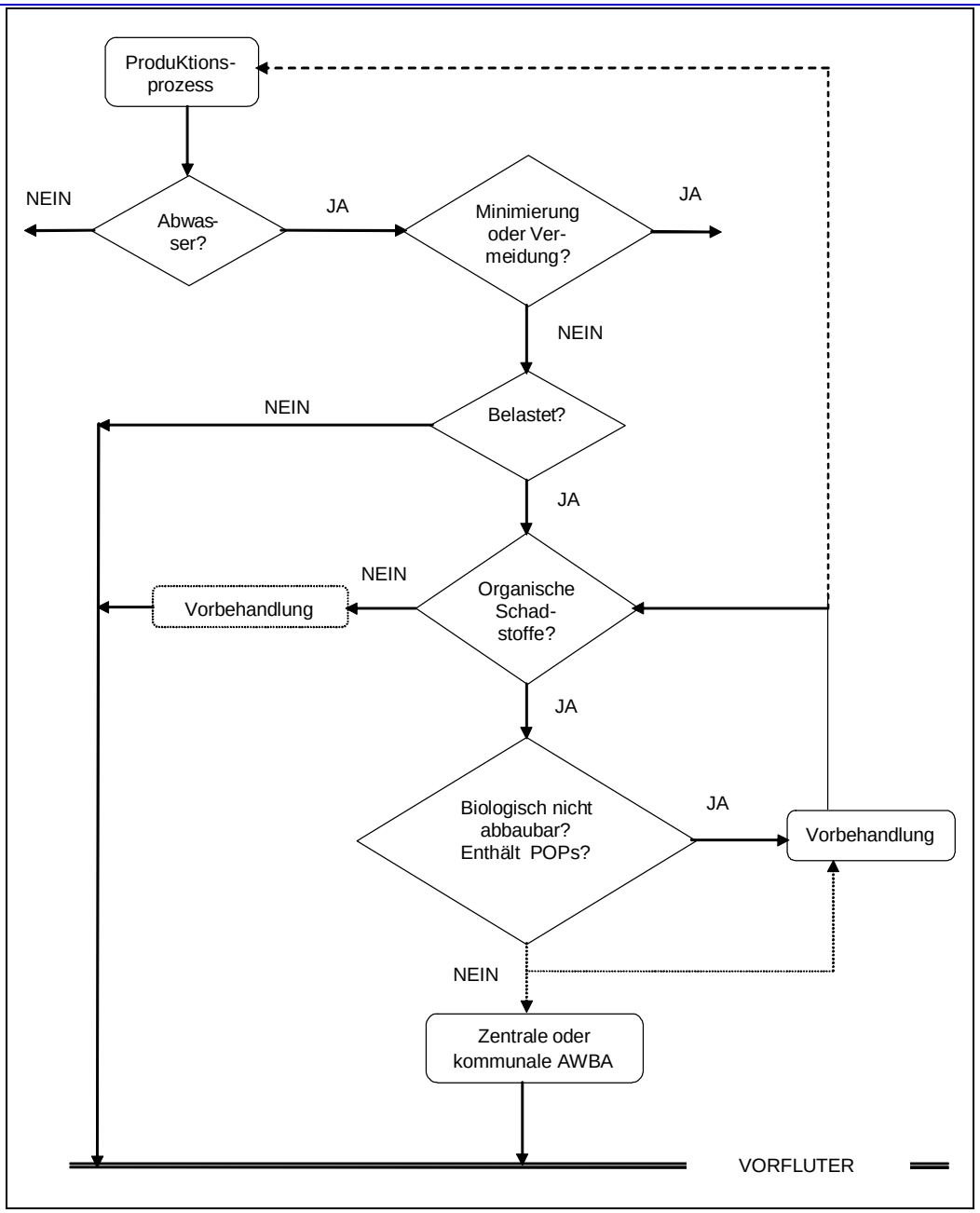

Abbildung 2.5: Entscheidungsbaum für geeignete Abwasserbehandlungssysteme

Als ein Beispiel für ein Kriterium zur Priorisierung wurde in Teilen Deutschlands eine sorgfältige Untersuchung der Teilströme auf refraktäre TOC-Frachten bis in die Größenordnung von 20 – 50 kg/d vorgenommen. Andere relevante Parameter in diesem Zusammenhang sind Schwermetalle, halogenorganische Verbindungen und die Toxizität.

Das Vorgehen bei der Auswahl folgt den in Abschnitt 2.2.2.3 dargelegten Schritten:

- **Behandlung an der Quelle**
  Zunächst sollten die Möglichkeiten zur Reduzierung der Abwasserbelastung an der Quelle in Erwägung gezogen werden. In vielen Fällen ergibt sich dies aus den Betrachtungen der Verfahren, wie es im entsprechenden vertikalen BVT-Referenzdokument dargelegt ist. Für häufig auftretende Belastungsursachen bestehen folgende Vorschläge:

Der **Prozesswasserverbrauch** hängt vom Herstellungsprozess ab. Sein Verschmutzungsgrad hängt hauptsächlich von der Löslichkeit des Prozessstromes im Wasser ab. Folgende Vorschläge sollten in Betracht gezogen werden:

- die Trennung von Prozess- und Regenwasser und anderen Abwässern für die Bewerkstelligung einer Wiederverwendung oder eines Recyclings sowie die Minimierung der zu behandelnden Wassermenge, die Überdachung bestimmter Produktionsflächen und Belade- und Entladebereiche etc. sind in Betracht zu ziehen
- Kreislaufführung des Prozessabwassers mit einer maximalen Kreislaufrate vor seiner Ableitung, soweit es wirtschaftlich zumutbar ist
- Vermeidung von Direktkühlsystemen, wo immer möglich
- eine kritische Überprüfung des Bedarfs an wässrigen Abgaswaschsystemen oder, wenn sie im Einsatz sind, Untersuchung des Potenzials der Wasseraufbereitung und Wiederverwendung (siehe Abschnitt 2.2.1.2.2);
- die Minimierung des Wasserbedarfs für Spül- und Dichtungssysteme, die häufig aus Sicherheitsgründen erforderlich sind. Der Wassereinsatz dafür sollte nicht ohne Bewachung oder Begrenzungsmaßnahmen erfolgen
- Entfernung von freiem Öl in einem Ölabscheider vor Einleitung in die Kanalisation
- vor der Einleitung in die Kanalisation sollte, soweit praktisch möglich, eine wirksame Trennung von Wasser und Kohlenwasserstoffen innerhalb der Anlage erfolgen
- wenn machbar, sollte zur Minimierung der von Vakuumsystemen ausgehenden Verschmutzungen in Venturi-Jetanlagen eine Flüssigkeit anstelle von Dampf oder eine Flüssigkeitsringvakuumpumpe, bei der vorzugsweise eine Sperrflüssigkeit verwendet wird, oder eine Trockenvakuumpumpe zur Minimierung der durch Vakuumanlagen verursachten Belastung zum Einsatz kommen
- soweit als möglich sollten die Emissionen von Sicherheitsventilen, thermischen Ablassventilen, Abläßen aus der "Double Block"-Isolierung oder aus Doppeldichtungs-ventilen erfasst werden, da ihre Ableitung in Bereiche, in denen sauberes Regenwasser gesammelt wird, nicht empfehlenswert ist
- Sammlung der Laborabwässer in einem Schmutzwassertank.

Unbeabsichtigte betriebliche Einleitungen in die Kanalisation können im Allgemeinen durch erhöhte Sorgfalt des Betriebspersonals vermieden werden. Zusätzliche Messtechnik oder die Schmutzwassersammlung kann oft die sorgfältige Wahrnehmung der Betreiberaufgaben unterstützen. Immer dann, wenn häufig Emissionen flüchtiger Kohlenwasserstoffe auftreten, sind die Einrichtungen zur Schmutzwassersammlung empfehlenswert. Zur Reduktion von unbeabsichtigten Freisetzungen während des Betriebs sollten folgende Vorschläge in Betracht gezogen werden:

- Anschluss oder Verschluss von Entlüftungen und Abzügen, die nicht in Gebrauch sind
- das Sammeln von Spülwässern in einem Schmutzwassersystem ist der Ableitung in die Kanalisation vorzuziehen, möglichst unter Verwendung von geschlossenen Zyklusprobenahmesystemen oder Probenahmehähnen, die keine Spülung erfordern (z. B. kolbenartige Probenahmehähne); die Größe der Probenahmeflaschen ist so zu bemessen, dass ein Überfüllen vermieden wird und die Probenahmehäufigkeit auf das erforderliche Minimum beschränkt wird
- Vermeidung des Überfüllens von Behältern oder Tanks durch Einbau einer hinreichenden Messtechnik oder durch geeignete Verfahrensweisen
- Minimierung des Einsatzes von Schläuchen
- Einrichtungen zur Sammlung von Tropfverlusten aus Schläuchen in Erwägung ziehen
- Überdachung von Beladebühnen in Erwägung ziehen
- Errichtung von Aufkantungen, um Auffangraum im Falle von Leckagen sicher zu stellen
- geeignete Messtechnik zur Vorbeugung der Überfüllung von Tanklastzügen
- Vermeidung von Produktverlusten im Laufe des Wasserabzugs vom Tankboden
- den Einbau verlässlicher Messinstrumente zur Detektierung der Phasengrenze in Erwägung ziehen
- den Einsatz von Molchen für Leitungen an Stelle des Spülens und Ablassens, wann immer anwendbar, in Erwägung ziehen
- wenn immer möglich ist das Aufsaugen von Leckagen dem Wegspritzen oder Dampfstrahlen mit Ableitung in die Kanalisation vorzuziehen
- den Einsatz von Wasserschläuchen unterlassen oder nur unter Aufsicht verwenden, was guter Management-/Produktionspraxis entspricht

Die Wassereinsparungen durch prozessintegrierte oder andere Maßnahmen führt jedoch zu höher konzentrierten Wasserströmen, die wirtschaftlich recycelt oder für höhere Produktionsausbeuten genutzt oder mit

höherer Effizienz behandelt werden können. Auf diese Weise kann jegliche Maßnahme zur Reduzierung des Wasserverbrauchs unmittelbar zu einer Reduktion der Menge an Schadstoffen führen, die über die Kanalisation abgeleitet wird.

Generalüberholung und andere Wartungsarbeiten führen oft zu beträchtlichen Wasserbelastungen. Um dies zu minimieren, ist eine sorgfältige Planung im Vorfeld erforderlich wie:

- Festlegung einer bestimmten Stelle für die Reinigung von technischen Einrichtungen, die mit geeigneten Techniken zur Rückgewinnung von Kohlenwasserstoffen und festem Abfall ausgerüstet sind; an dieser Stelle ist die Reinigung der technischen Einrichtungen soweit wie möglich zwingend durchzuführen (z. B. Reinigung von Rohrbündelwärmetauschern)
- sorgfältige Planung des Entleerens von technischen Einrichtungen zur Vermeidung von unerwünschten Emissionen in die Kanalisation
- sorgfältige Beurteilung der Notwendigkeit und der Verfahren zur Reinigung von technischen Einrichtungen
- Festlegung eines Entsorgungsweges für alle Reinigungsflüssigkeiten

Emissionen durch Betriebsstörungen sind naturgemäß nicht vorhersehbar. Die vorbeugende Wartung der technischen Einrichtungen und die Einführung eines Überwachungsprogramms stellen Wege dar, die Minimierung solcher Emissionen sicher zu stellen, z. B.:

- soweit wie möglich Vermeidung von defekten Pumpendichtungen
- den Einbau von dichtungslosen Pumpen, einer Erschütterungsüberwachung oder Warneinrichtungen für Pumpenleckagen in Erwägung ziehen
- die Feststellung von Leckagen ins Kühlwasser, die durch schadhafte Wärmetauscher auftreten, durch Kontrolle des Kohlenwasserstoffgehalts, des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit im zurückgeführten Kühlwasser
- Reparatur festgestellter Leckagen sobald wie möglich
- häufige Überprüfung von Systemen, in denen Leckagen auftreten, zur Identifizierung der geeignetsten technischen Einrichtung, Dichtung, Dichtflansch, etc.

Die **Verunreinigung durch undichte** Kanalsysteme kann minimiert werden, z. B. durch:

- regelmäßige Überprüfung der Kanalschächte auf das Vorhandensein von z. B. Kohlenwasserstoffen in Phase, um diese abzusaugen und, falls erforderlich, dem Schmutzwasser zuzuführen
- Reinigung verschmutzter Kanäle, die möglicherweise eine beträchtliche Verunreinigung verursachen..

- **Wahl des Kanalisationssystems** (siehe Abschnitt 2.2.2.4.1)

- **Installation von Pufferkapazität**
  Die Installation von Pufferkapazität ist für bestimmte Abwasserströme aus Produktionsanlagen nützlich sowie, im Falle einer Betriebsstörung, für erfasste Abwasserströme, bevor diese die zentrale Abwasserbehandlungsanlage erreichen. Weitere Details enthält Abschnitt 3.3.3.

- **Behandlungsmethoden**
  Zu betrachtende Behandlungsmöglichkeiten sind:

  - Vorbehandlung eines einzelnen Abwasserteilstroms zur Reduktion der Schadstoffe an der Quelle mit nachfolgender zentraler Behandlung, z. B. eines Teilstroms der Schwermetalle oder refraktären CSB enthält, wodurch eine unerwünschte Verdünnung und Vermischung von Schadstoffen vermieden wird, die ansonsten unbemerkt und unbehandelt in ein Gewässer gelangen können
  - Endbehandlung eines einzelnen Abwasserteilstroms mit Direkteinleitung in das Gewässer
  - Vorbehandlung oder Endbehandlung von Abwasserteilströmen
  - zentrale Behandlung des Abwassers aus einem ganzen Standort, z. B. eine mechanisch-biologische Behandlungsanlage (zentrale biologische Abwasserbehandlungsanlage), Anlage zur Fällung/Flockung/Sedimentation oder eine Behandlungsanlage für belastetes Regenwasser
  - keine Behandlung für niedrig belastete Abwasserteilströme oder nicht belastetes Regenwasser.

Die verschiedenen Behandlungstechniken sind in Kapitel 3 beschrieben.

2.2.2.3.2 Wahl des Abgasbehandlungssystems

Das Auswahlverfahren folgt der in Abschnitt 2.2.2.3 dargelegten Abfolge. Bei der Planung von Änderungen mit Unterscheidung nach Reduktionen an der Quelle oder einer end-of-pipe-Behandlung sollte stets berücksichtigt werden, dass alle Änderungen bedeutende Sicherheitsauswirkungen, besonders beim Umgang mit brennbaren Stoffen, haben können. Deshalb ist die gründliche Bewertung der Auswirkungen jeglicher Änderung auf die Anlagensicherheit unbedingt erforderlich.

- **Reduktion an der Quelle**
  Die kostengünstige Verminderung von Emissionen erfordert zunächst die Ermittlung von Möglichkeiten zur Reduktion an der Quelle. Die Option der Rückgewinnung von Schadstoffen bedarf einer sorgfältigen Planung und im Anschluss daran der Optimierung der damit verbundenen Kapital- und Betriebskosten.

  Untersuchungen können weitere Möglichkeiten zur Reduktion der Emissionen an der Quelle ergeben. In den meisten Fällen sind die Investitionen dafür niedriger als für eine end-of-pipe-Behandlung. Eine gründliche Untersuchung der Möglichkeiten zur Reduktion an der Quelle ist deshalb nachdrücklich zu empfehlen. Sie sollte auf den Ursachen der Emissionen basieren. Deshalb ist die genaue Kenntnis der relativen Bedeutung jeder Quelle zum Zweck der Priorisierung unerlässlich. Soweit alle machbaren Möglichkeiten zur Reduktion an der Quelle ausgeschöpft sind, kann noch eine end-of-pipe-Behandlung erforderlich sein.

- **Erfassung der Emissionen** (siehe Abschnitt 2.2.2.4.2)

- **Wahl der Behandlungstechnologie**
  Wenn die Reduktion an der Quelle nicht zur erforderlichen Emissionsreduktion führt, wird eine end-of-pipe-Behandlung notwendig. Alle Behandlungseinrichtungen können nur gefasste Emissionen bewältigen. Wenn deshalb nicht gefasste Emissionen durch andere Maßnahmen als solche an der Quelle vermindert werden müssen, sind Hauben und ein Abzugssystem (einschließlich der notwendigen Sicherheitseinrichtungen) erforderlich, die dem end-of-pipe-Behandlungssystem vorgeschaltet werden. Die Kosten für den Einbau solcher Abzugssysteme können beträchtlich sein. Deshalb sollten sie unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit konzipiert werden. Die für die end-of-pipe-Behandlung erforderlichen Investitionskosten hängen im Allgemeinen vom gesamten Abgasvolumenstrom ab, weshalb sich Anstrengungen zu dessen Minimierung kostenmindernd auswirken. Schließlich hat die Auswahl einer geeigneten Behandlungstechnologie einen beträchtlichen Einfluss auf die erforderlichen Kapital- und Betriebskosten.

  Die entscheidenden Kriterien für die Bemessung von Abgasbehandlungssystemen sind der Abgasvolumenstrom, die Schadstoffkonzentrationen und, neben ihren Maximalwerten, ihr Schwankungsbereich. Die Art – oder die „Chemie“ – der Schadstoffe ist von elementarer Bedeutung, da allen Behandlungssystemen diesbezüglich Grenzen gesetzt sind z. B.:

  - nur brennbare Dämpfe sind für eine Verbrennung geeignet
  - Schadstoffe, die Halogen und/oder Schwefel enthalten, können eine der thermischen oder katalytischen Oxidation nachgeschaltete Rauchgasbehandlung erfordern
  - die Wirksamkeit der Kondensation hängt vom Dampfdruck der Schadstoffe bei der Kondensationstemperatur ab, weshalb Stoffe mit höherem Dampfdruck für eine Kondensation weniger in Frage kommen
  - nur niedermolekulare Verbindungen können wirksam adsorbiert und desorbiert werden
  - die Biofiltration von biologisch nicht abbaubaren Stoffen ist nicht sehr effizient
  - Membranen funktionieren besser bei spezifischen Stoffen
  - der Wirkungsgrad von Nasswäschern hängt von der Wasserlöslichkeit und dem Dampfdruck der Schadstoffe ab

  Der Wert der emittierten Produkte bestimmt den Anreiz für ihre Rückgewinnung aus dem Abgas. Deshalb werden Techniken, die eine Rückgewinnung erlauben (z. B. Adsorption, Kondensation, Membrantechnik) umso mehr stoffzerstörenden Techniken (z. B. thermische und katalytische Oxidation, Biofiltration) vorgezogen werden, je wertvoller das Produkt ist.

Das Vorhandensein von Verunreinigungen im Abgas beeinflusst die Konzeption des Systems. Manchmal müssen diese Verunreinigungen in einer Vorbehandlungsstufe entfernt werden, z. B.:

- Wasserdampf, der die Adsorption beeinträchtigt; Kondensationssysteme, besonders Kühl- oder Kältesysteme oder Filtrationssysteme
- Staub, der Probleme bei der Adsorption, Absorption oder der katalytischen Oxidation bereitet, da die Staubpartikel die Packung oder das Adsorptionsbett verstopfen
- Katalysatorgifte, die die Wirksamkeit einer katalytischen Verbrennung oder eines katalytischen Filters zerstören
- Säuren, die die Leistung von Biofiltern/Biowäschern beeinträchtigen.

Die zulässige emittierte Konzentration muss berücksichtigt werden. Den meisten Technologien sind hinsichtlich ihres Wirkungsgrades Grenzen gesetzt und besonders bei Kondensations-, Absorptions- und Biofiltrationstechniken liegt der Wirkungsgrad deutlich unter 100 %. Dies ist ein Vorteil der thermischen oder katalytischen Oxidationssysteme, die einen sehr hohen Wirkungsgrad von ca. 99 % erreichen; allerdings sind andererseits der zusätzliche Energieverbrauch und die Emission der Rauchgase zu berücksichtigen. Adsorptionssysteme sind ebenfalls sehr wirksam, solange dafür Sorge getragen wird, eine Sättigung des Adsorptionsmittels zu vermeiden.

Für thermische und katalytische Oxidationssysteme sind Sicherheitsfragen besonders wichtig. Die meisten VOC/Luft-Mischungen sind bei VOC-Konzentrationen über 40 g/m^3, 20 ºC und Atmosphärendruck brennbar. Zur Vermeidung von Flammenrückschlag, d. h. Ausbreiten der Flamme in der Zuführungsleitung einer Verbrennungsanlage, ist stets eine Rohgaskonzentration sicher zu stellen, die deutlich unter der unteren Explosionsgrenze liegt. Bei der gegensätzlichen Möglichkeit – die VOC-Konzentrationen liegen deutlich oberhalb der oberen Explosionsgrenze – ist sicher zu stellen, dass die VOC-Konzentration unter keinen Umständen unter die obere Explosionsgrenze fällt. Eine Explosionssperre oder Dichtungstrommel kann zur Vermeidung des Flammenrückschlagsrisikos bei unerwartet hohen Konzentrationen eingesetzt werden. Außerdem muss die Verbrennungsanlage an einer Stelle installiert werden, an der kein Risiko für das Auftreten brennbarer Dämpfe besteht. Auch ist eine genaue Analyse zur Gewährleistung der Sicherheit der Anlage erforderlich. Auch Systeme mit anderen Technologien müssen Gegenstand einer detaillierten Sicherheitsüberprüfung sein. Bei vielen Systemen (z. B. Adsorption, Membrantechnik) entstehen konzentrierte Ströme mit Konzentrationen, die möglicherweise im brennbaren Bereich liegen. Bei Adsorptionssystemen ist das Risiko einer Bettüberhitzung zu prüfen. Viele Systeme beinhalten Kompressoren oder Gebläse, die Auswirkungen auf die Sicherheit haben können. Im Allgemeinen ist eine detaillierte Sicherheitsprüfung für jede Anlage erforderlich, was einen beträchtlichen Einfluss auf die Wahl des Systems haben kann. Deshalb sind Sicherheitsaspekte für Elektrofilter (eine Entstaubung brennbarer Gase sollte vermieden werden) und für Gewebefilter (mögliche Entzündung durch heiße Gase, selbstentzündliche Pulver und durch Funken) wichtig.

Die für das System erforderlichen Investitionskosten sind offensichtlich auch von grundlegender Bedeutung. Bei der Ermittlung der erforderlichen Investition sollte dafür Sorge getragen werden, die Kosten für alle notwendigen technischen Einrichtungen zu berücksichtigen. Besonders die Versorgungseinrichtungen, das Abgaserfassungssystem vor der Behandlungsanlage und Anforderungen an Nebeneinrichtungen (z. B. Dichtungstrommel für eine Verbrennungsanlage, Wasserbehandlungsanlage für eine Kondensiereinheit) können bedeutende Kostenrelevanz haben.

Obwohl die Investitionskosten wichtig sind, können die Betriebskosten noch bedeutender sein. Diese beinhalten den Verbrauch an Energie und anderen Hilfsmitteln, den Einsatz von Katalysatoren, Adsorptionsmedien oder Membranen, die Chemikalienkosten, die Kosten für Betrieb und Wartung, für die Entsorgung und für die Vor- und Nachbehandlung etc. Bei der Kostenermittlung sollte auf die Quantifizierung der Kosten geachtet werden, die mit jedem Betriebszustand (Regelbetrieb, Regeneration, Anlagenstillstand) verbunden sind. Beispielsweise sind thermische Oxidationsanlagen normalerweise mit Feuerfestmaterial ausgekleidet. Dieses Feuerfestmaterial ist gegenüber Feuchtigkeit empfindlich und muss deshalb stets warm gehalten werden. Die Brennstoffmenge für das Warmhalten während Betriebsstillständen ist ein wichtiger Gesichtspunkt bei Systemen, die nicht über 24 Stunden und an 7 Tagen die Woche betrieben werden. Um ein regeneratives oder flammenloses System auf Temperatur zu halten, wird ein Teil des für eine einfache Oxidationsanlage erforderlichen Brennstoffs verbraucht.

Einschränkungen bei der Anlagenanordnung können auch eine wichtige Rolle spielen. Verbrennungsanlagen müssen außerhalb von Stellen platziert werden, an denen brennbare Dämpfe auftreten können. Die Installation eines Systems innerhalb eines gefährlichen Bereichs erfordert die entsprechende Auslegung der elektrischen und messtechnischen Systeme, was die Anlagenkosten beträchtlich beeinflussen kann. Die Anforderungen an den Anschluss der Anlagen sind auch zu berücksichtigen.

Die Verfügbarkeit von Versorgungseinrichtungen ist noch ein anderer entscheidender Aspekt bei der Auswahl der geeignetsten Behandlungstechnologie. Für ein Verbrennungssystem ist die Verfügbarkeit eines geeigneten Brennstoffs erforderlich und die Brennstoffkosten können einen großen Einfluss auf die Betriebskosten haben. Die Festbettadsorption erfordert für die Desorption normalerweise Dampf; wenn jedoch Dampf in ausreichender Menge nicht zur Verfügung steht, muss das Konzept entsprechend angepasst werden. Für Kondensationssysteme ist eine ausreichende Energieversorgung erforderlich und für Waschsysteme eine ausreichende Wasserversorgung.

Die Behandlungssysteme sind in Kapitel 3 dargelegt.

2.2.2.4 Wahl des Erfassungssystems

Die Wahl eines geeigneten Sammelsystems wird durch die Auswahl der Behandlungssysteme beeinflusst und hängt deshalb von der Aufgabenstellung und der Zielsetzung der Abwasser- und Abgasbehandlung ab. Die Methodik der Systemwahl wird in den folgenden Abschnitten für Abwasserkanäle und Abgasleitungen beschrieben.

2.2.2.4.1 Wahl des Abwassersammel- und Abwassertrennsystems

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Abwasserkatasters stellt die Wahl eines geeigneten Abwassersammelsystems die optimale Einleitung von Abwasser mit den geringst möglichen Umweltauswirkungen sicher. In Abhängigkeit von den nachgeschalteten Behandlungstechniken sollte ein Kanalisationssystem so installiert werden, dass es folgende Anforderungen erfüllt:

- Regenwasserkanäle
- Kühlwasserkanäle entsprechend dem Verschmutzungsgrad
- Abwasserkanäle, die eine Direkteinleitung ohne jegliche Behandlung erlauben
- Kanäle für häusliches Abwasser
- Kanäle für Prozessabwasser entsprechend seiner Herkunft
- Kanäle für dezentrale oder zentrale (am Standort oder extern) Behandlungsanlagen
- getrennte Kanäle für organisch belastetes Abwasser und für anorganisch belastetes Abwasser ohne nennenswerte organische Belastung, um so eine Verdünnung dieser Abwasserarten und eine dadurch verminderte Reinigungsleistung zu vermeiden

Diese Voraussetzungen sowie wirtschaftliche Faktoren erfordern die Einrichtung und die Wartung von Abwassertrennsystemen. Nicht behandlungsbedürftiges Abwasser – z. B. unbelastetes Kühlwasser oder unbelastetes Regenwasser – wird vom behandlungsbedürftigen Abwasser getrennt gehalten, um so die hydraulische Belastung der Kanalisation und des Behandlungssystems zu reduzieren.

Abwasserteilströme, die die erforderlichen Vorgaben für die zentrale Behandlung nicht erfüllen, müssen speziellen Vorbehandlungsverfahren unterzogen werden. Deshalb sollte für jeden Abwasserteilstrom der in Abbildung 2.5 dargestellte Entscheidungsablauf durchgeführt werden und das geeignete Kanalisationssystem sollte entsprechend konzipiert werden.

Das Abwasser kann entweder in unterirdischen oder oberirdischen Kanälen oder Entwässerungen gesammelt werden. Bestehende Anlagen sind oft mit unterirdischen Systemen versehen, da sie im freien Gefälle betrieben werden können, was Pumpenergie spart und bei Anlageninstallationen sind die Leitungen aus dem Weg. Oberirdische Leitungen haben den Vorteil, leicht Leckagen oder Brüche feststellen zu können, bevor großer Schaden am Grundwasserreservoir entstanden ist. Wenn an einem Industriestandort der Grundwasserspiegel nahezu an der Oberfläche steht, wie es bei Standorten in der Nähe von Deichen, Flussmündungen oder Küstengebieten der Fall ist, gibt es normalerweise keine andere Möglichkeit als die oberirdische Verlegung der Abwasserleitungen. Fortschrittliche Technologien sehen oberirdische Abwasserleitungen vor, da Wartung, Nachrüstung und Repa-

ratur einfacher durchgeführt werden können und der Betrieb deshalb kostengünstig ist. Ein Nachteil besteht in der Notwendigkeit von Druckleitungen und dem Risiko der Emulsionsbildung durch den Pumpvorgang. Klimatische Bedingungen können jedoch für oberirdische Leitungen ein Problem darstellen (z. B. Gebiete mit langen Frostperioden).

2.2.2.4.2 Wahl des Abgaserfassungssystems

Abgassammelsysteme sind meist deutlich weniger aufwändig als Abwassersammelsysteme. Sie werden hauptsächlich installiert:

- als Abluftsammelsystem, das die verschiedenen Abluftströme einem gemeinsamen Behandlungssystem zuführt
- zur Erfassung von diffusen und/oder flüchtigen Emissionen durch Abzugshauben und Zuführung zu einer Behandlungsanlage
- als Fackelsysteme, die primär für die sichere Entsorgung von Abgasen in Notfällen installiert werden

Zur Minimierung des Luftvolumenstroms zur Behandlungsanlage ist soweit als möglich die Kapselung der Emissionsquellen durch Abtrennung der Emissionsquellen von ihrer Umgebung empfehlenswert. Dies führt jedoch zu Wechselwirkungen mit dem Betrieb (Zugang zu den technischen Einrichtungen), der Sicherheit (Vermeidung von Konzentrationen, die zu nahe an der unteren Explosionsgrenze liegen) und der Hygienebelange (wo Personen sich innerhalb der Einhausung aufhalten müssen). Die Einhausung sollte so ausgelegt sein, dass Dämpfe durch die Sicherstellung einer ausreichenden Luftgeschwindigkeit durch die Öffnungen (eine Mindestgeschwindigkeit von 0,5 m/s wird empfohlen) nicht entweichen können. Der gesamte Volumenstrom sollte für die Sicherstellung einer Verdünnung der Dämpfe auf einen Wert deutlich unter der unteren Explosionsgrenze ausreichend sein. Wo diese Konzentration möglicherweise überschritten werden kann, ist ein Detektor für die Bestimmung der unteren Explosionsgrenze innerhalb der Einhausung einschließlich einer geeigneten Überwachungseinrichtung erforderlich.

In den meisten Fällen wird das System zur Behandlung der Emissionen am Ende von bestehenden, leitungsgebundenen Emissionsstellen oder Abgassammelsystemen eingebaut. Eine kritische Überprüfung der bestehenden Systeme ist vor der Festlegung des dem Behandlungssystem zugeführten Gesamtvolumenstroms zu gewährleisten. Diese Überprüfung ist aus zwei Gründen erforderlich:

- Die vorhandenen Volumenströme von Gebläsen können sich von dem Bemessungsvolumenstrom der Gebläse aufgrund des Druckverlustes vor und nach dem Gebläse deutlich unterscheiden. Tatsächliche Volumenströme, die unter 50 % der Bemessungsgebläsekapazität liegen, sind nicht selten. Deshalb kann das Stützen des Volumenstroms des Behandlungssystems auf die Summe der Bemessungsvolumenströme der Gebläse, die das Abgas zur Behandlung fördern, zu einer beträchtlichen Überdimensionierung der end-of-pipe-Behandlung führen. Es wird deshalb die Messung der tatsächlichen Volumenströme empfohlen. Bei der abschließenden Bemessung des Systems sollte geprüft werden, ob eine Änderung der Volumenströme (Erhöhung oder Verminderung) möglicherweise durch den Einbau der Behandlungsanlage eingetreten ist. Im Falle eines geringeren Volumenstroms müssen auch die Auswirkungen auf die Sicherheit überprüft werden.

- Die bestehenden Abluft- oder Dampfabsaugsysteme könnten ohne den Ansatz der Minimierung der Volumenströme ausgelegt worden sein. Kleine Anpassungen der Bemessung können zu beträchtlichen Reduktionen der Volumenströme und damit zu beträchtlichen Einsparungen bei den Kosten für die end-of-pipe-Behandlung führen.

Für VOC-Sammelsysteme sind die Sicherheit der Beschäftigten und die Hygiene die wichtigsten Probleme. Einbaubare Einrichtungen, die die Entzündung von brennbaren Gas/Sauerstoffgemischen vermeiden oder deren Auswirkung durch Vermeidung von Explosionen minimieren, sind z. B.:

- Sicherung gegen Detonationen
- Dichtungstrommel
- Dichtungsringe

In VOC-Sammelsystemen muss die Konzentration deutlich unter dem Explosionsbereich gehalten werden. Dies bedeutet, dass das richtige Mischungsverhältnis der Abgase entscheidend ist.

2.2.2.5 Ausführung der gewählten Maßnahmen zur Emissionsminderung

Sobald Maßnahmen zur Emissionsminimierung ausgewählt sind, muss ihre Ausführung, organisatorischer oder anlagentechnischer Art, im Detail geplant werden. Sofern unerwartete Probleme im Zuge der Detailplanung und/oder der Überprüfung festgestellt werden, kann eine Überarbeitung der Auswahl der Möglichkeiten zur Emissionsminderung erforderlich werden. Es ist völlig klar, dass eine erfolgreiche Ausführung von Minderungstechniken eine sorgfältige Planung erfordert. Ansonsten würde die Minderungstechnik einen niedrigen Wirkungsgrad und ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis hinsichtlich der Umweltinvestition aufweisen.

Die erforderliche Zeit für die Ausführung der Emissionsminderungsmaßnahmen hängt sehr von der Art der Maßnahme und der Anlagenart ab, in die sie einzubauen sind:

- organisatorische Maßnahmen, z. B. die Überwachung von Betriebsweisen oder des praktischen Ablaufs können gewöhnlich relativ schnell umgesetzt werden
- Überwachungsmaßnahmen, z. B. die Optimierung der Computersteuerung, können mehrere Monate (oder sogar Jahre) zur Entwicklung und zum Testen unter Praxisbedingungen in Anspruch nehmen
- Maßnahmen bei der Anlagentechnik, z. B. Einführung von Minderungstechniken oder Prozessänderungen zur Reduktion an der Quelle können einige Monate bis zu einigen Jahren erfordern. Dies hängt vom Projektumfang und den Möglichkeiten des Einbaus der Technik in einer laufenden Anlage ab. Diese Zeitspanne beinhaltet die Auslegung der technischen Einrichtungen, das Genehmigungsverfahren, das Detailengineering, die Anlagenbeschaffung, den Einbau und die Inbetriebnahme. In vielen Fällen ist für die Umsetzung der Anlagenänderungen das komplette Herunterfahren (Generalüberholung) erforderlich und in großen chemischen oder petrochemischen Betrieben kann dies nur einmal in ein paar Jahren erfolgen.

2.2.2.6 Qualitätssicherungsverfahren

Qualitätssicherungsverfahren sind Instrumente, die als “Trouble Shooter“ eingesetzt werden, wenn ein bestimmtes Behandlungsverfahren außer Kontrolle gerät oder die Genehmigungsanforderungen nicht erfüllen kann. Die Emissionen einer Behandlungsanlage hängen von der Rohgascharakteristik und vom Wirkungsgrad der Behandlungstechnik ab. Zur Überprüfung des Erfolgs eines Behandlungsverfahrens muss die Qualität des Reingases mit den vorgegebenen Grenzwerten verglichen werden. Werden diese Grenzwerte nicht eingehalten, ist eine umgehende Wiederherstellung des Betriebs mit Einhaltung der Grenzwerte erforderlich [cww/tm/129]durch:

- Feststellung der Änderung
- Identifizierung der Ursache für die Änderung
- Ergreifen von Abhilfemaßnahmen, mit denen das System wieder in den bestimmungsgemäßen Betrieb gebracht wird

Für die Problemlösung und die Verbesserung des Systems ist die Betrachtung der gesamten Anlage erforderlich und für Abhilfemaßnahmen ist die Zusammenarbeit verschiedener Abteilungen notwendig. Im Folgenden werden diese Verfahren für die Abwasserbehandlung dargestellt. Für die Abgasbehandlung gelten die gleichen Verfahren.

Durchführung von Kontrollen [cww/tm/129]
Einige Einflussfaktoren können vom Betreiber einer Abwasserbehandlungsanlage überwacht werden, wie der Schlammabzug eines Sedimentationsbeckens, der Sauerstoffgehalt und der stoffliche Zulauf, die bei Bedarf angepasst werden können. Andere Einflussfaktoren unterliegen nicht der Kontrolle des Betreibers, z. B. die Menge des Abwassers und seine Charakteristik. Diese sich ändernden Parameter können große Auswirkungen auf den Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage und letztlich auf die Qualität des eingeleiteten Abwassers haben.

Die überwachbaren Parameter werden alle als Reaktion auf eine Veränderung des Systems geregelt. Die Regelung in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen stellt eine Rückkopplung dar, mit der versucht wird, eine konstante Ablaufqualität bei schwankendem Zulauf zu erreichen. Mit den nicht überwachbaren Einflussfaktoren wird in vorausschauender Art oder mittels “Feed forward“ (Vorkopplung) umgegangen. Online Test- und Messverfahren geben der Abwasserbehandlungsanlage Vorwarnungen über Änderungen, die im Zulauf auftreten.

Überwachung/Verbesserung [cww/tm/129]
Die übliche Art der Überwachung einer Abwasserbehandlungsanlage ist die Prozessüberwachung. Es werden diejenigen Prozesse überwacht, die für die Einhaltung der Grenzwerte und zum Betrieb innerhalb der vorgegebenen Abwasserqualität erforderlich sind, wodurch ein Teil der Systemüberwachung verloren geht. Die zu ergreifenden Schritte bei Verlust der Prozesskontrolle sind wohl bekannt, wie Feststellung der Ursache, Maßnahmen zur Identifizierung und Abhilfe (siehe oben). Die einfache Möglichkeit, nichts zu unternehmen, ist in den meisten Fällen nicht akzeptabel.

Im Sinne der Qualitätssicherung bedeutet "unter Kontrolle", dass das System mit Schwankungen so gut wie möglich umgeht, aber der Prozess selbst ist nicht in der Lage ist, die festgelegten Abwassergrenzwerte statistisch einzuhalten, entweder weil es neue Grenzwerte gibt, oder weil sich der Zulauf geändert hat. Neue Grenzwerte erfordern Verbesserungen, die sich aus einer Reihe von Abhilfemaßnahmen zum Erreichen eines neuen Regelungsbereiches ergeben, der innerhalb der neuen Grenzwerte liegt.

Instrumente zur Qualitätsverbesserung [cww/tm/129]
Das Ziel der Qualitätsverbesserung ist das Verwerfen üblicher Standards und das Erklimmen eines bis dahin nie erreichten Leistungsniveaus, um so den Lösungsbereich auszubauen, der oberhalb der Verbesserung von offensichtlichen Problemen liegt. Während es durchaus wichtig ist, ein System zum Laufen zu bringen, dürften die Überprüfung des gesamten Systems und die Identifizierung potenzieller Verbesserungsmöglichkeiten wichtiger sein. Der Weg dazu besteht aus einem dreistufigen Vorgehen:

- Ermittlung der Gründe potenzieller Probleme
- Beschaffung der Daten und Analysen
- Statistische Prozessüberwachung

Der erste Schritt zur Problemlösung und zur Qualitätsverbesserung besteht in der Konzentration auf eine begrenzte Anzahl potenzieller Probleme und im Versuch, ihre Ursachen herauszufinden. Ein **Ursache-Wirkungs-Diagramm** in Form eines ISHIKAWA-Fishbone-Diagramms, wie es in Abbildung 2.6 dargestellt ist, bietet einen effektiven Weg, die verschiedenen Ideen zu den möglichen Ursachen zu ordnen und darzulegen.

Ein anderes Instrument ist die **Pareto-Analyse**, das aus einem abgestuften Vergleich von Faktoren eines Problems besteht. Es ist eine graphische Möglichkeit, die entscheidenden Faktoren eines Problems zu identifizieren und sich darauf zu konzentrieren.

Ein **Fließdiagramm** stellt die erforderlichen Schritte zur Entwicklung der gewünschten Ergebnisse dar und kann zur Klarstellung der eingesetzten Verfahrensweisen angewendet werden sowie ein einfaches Verständnis des Gesamtprozesses liefern.

Der zweite Schritt der Problemlösung und zur Qualitätsverbesserung besteht in der Beschaffung von genauen und verlässlichen Daten und ihrer Analyse. Dazu werden die erforderlichen Informationen gesammelt und die Daten für eine bessere Verwendungsmöglichkeit aufbereitet, z. B. in Form von Histogrammen und/oder Entwicklungskurven. Dies ermöglicht die Veranschaulichung des Ausmaßes der Prozessschwankung und die Identifizierung spezieller Probleme.

Der dritte Schritt auf dem Weg zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlungsanlage ist der Einsatz der **statistischen Prozessüberwachung (SPC)**. Bei der SPC werden statistische Methoden zur Untersuchung, Analyse und Überwachung der Schwankungen eines Prozesses angewandt. Es ist ein Mittel, aussagekräftige Informationen über einen Prozess zu gewinnen, sodass gegebenenfalls erforderliche Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt werden können. Die SPC wird zur Quantifizierung von streuenden Daten und zur mathematischen Bestimmung, ob ein Prozess stabil oder instabil verläuft, voraussagbar oder unbeständig ist, verwendet. Ein SPC-Diagramm ist ein Werkzeug, das auf folgende Fragen Antworten geben kann:

- liefert die Abwasserbehandlungsanlage stets die gleichen Ergebnisse?
- liegt sie im Rahmen der statistischen Überwachung oder liegen spezifische Ursachen für die Nichtübereinstimmung auf der Hand?
- liegt ihr Betrieb im zu erwartenden Bereich, soweit es die technischen Rahmenbedingungen zulassen?
- wann genau sind Abhilfemaßnahmen erforderlich und wann sollte das System ohne Aufsicht bleiben?
- sollten bei Änderungen des Prozesses oder der Verfahrensweisen Abhilfemaßnahmen ergriffen werden?

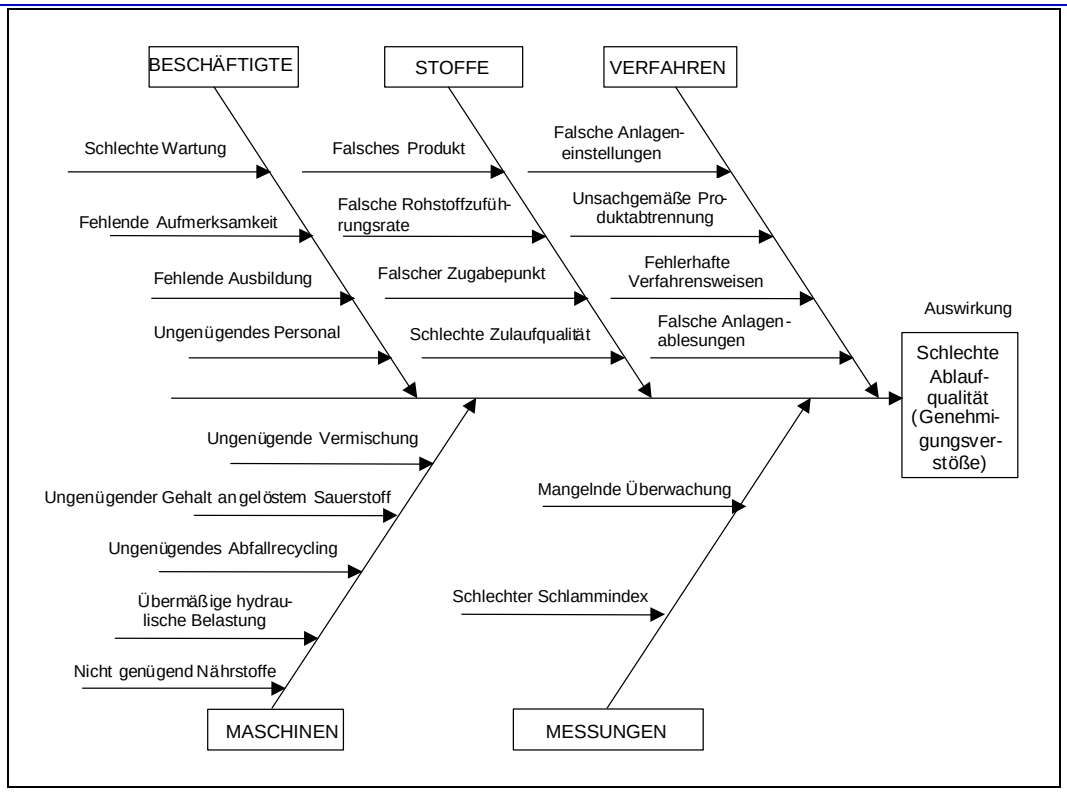

Abbildung 2.6: Ursache-Wirkungs-Diagramm einer schlechten Abwasserqualität

Bei der Erstellung eines SPC-Diagramms werden aus den Daten die oberen und unteren statistischen Grenzen berechnet. Diese Grenzen sind durch den Prozess bedingt und ergeben sich aufgrund der bisherigen Betriebsweise. Sie sollten nicht mit den betrieblichen Überwachungsgrenzwerten verwechselt werden, das sind die Grenzwerte für den Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage oder der Genehmigung. Die betrieblichen Überwachungsgrenzwerte müssen innerhalb der statistischen Grenzen (obere und untere) liegen.

Eine sofortige Reaktion oder Maßnahme ist erforderlich, wenn:

- die Daten außerhalb der statistischen Grenze liegen und deshalb von einer speziellen Ursache der Schwankung auszugehen ist, z. B. die Art der Probenahme, eine unkontrollierte Mutterlaugenableitung oder Messinstrumente, die eine Kalibrierung benötigen
- die statistischen Grenzen zu weit auseinander liegen und die aktuellen Werte eventuell außerhalb des Überwachungsbereichs oder der Genehmigungsgrenzwerte liegen.

Sofern die durch den Prozess festgelegten Grenzen außerhalb der betrieblichen Vorgaben oder Anforderungen liegen, reagiert der Betreiber auf die festgestellten Prozessänderungen möglicherweise richtig. Er müht sich mit einem System ab, dessen Betrieb innerhalb eines Bereiches erfolgen soll, innerhalb dessen ein Betrieb aber nicht beständig möglich ist. Die Daten zeigen an, dass es für einen stabilen Betrieb der Abwasserbehandlungsanlage zu große Schwankungen gibt und Systemänderungen erforderlich sind, um die Anlage in den Griff zu bekommen.

2.2.3 Strategische Managementinstrumente

Strategische Managementinstrumente werden für den Fall ihrer Anwendung auf die Organisation und den Umgang mit Emissionen beschrieben. Ihre Anwendung für das Prozessmanagement dürfte zum Geltungsbereich der entsprechenden vertikalen BVT-Referenzdokumente oder zum BVT-Referenzdokument über wirtschaftliche Aspekte und Verlagerungseffekte gehören. Solche Instrumente zur Beurteilung von umweltbezogenen oder wirtschaftlichen Möglichkeiten sind:

- Risikobewertung
- Benchmarking
- Lebenszyklusbewertung (LCA)

2.2.3.1 Risikobewertung

Die Risikobewertung ist ein gebräuchliches Verfahren zur Berechnung von Risiken für Mensch und Umwelt, die sich aus Vorgängen der Produktionsprozesse ergeben. Sie berücksichtigt kontinuierliche und diskontinuierliche Emissionen, Leckageverluste und Emissionen in Folge von Unfällen. Sie ist ein stufenweiser, sich wiederholender Prozess, der zumindest aus dem ersten von fünf Schritten besteht [cww/tm/132]:

- Gefahrenermittlung, d. h. Ermittlung des Potenzials eines Stoffes, nachteilige Auswirkungen zu verursachen
- Bewertung der Konzentrations-Wirkungs-Beziehung, d. h. Abschätzung der Beziehung zwischen dem Expositionsniveau eines Stoffes und dem Auftreten sowie dem Ausmaß von Wirkungen
- Expositionsbewertung, d. h. Abschätzung der Konzentrationen oder Dosen, denen Umweltkompartimente (einschließlich der menschlichen Bevölkerung) ausgesetzt sind
- Risikocharakterisierung, d. h. Abschätzung des Auftretens und des Ausmaßes von möglicherweise auftretenden nachteiligen Wirkungen
- Risikoabschätzung, d. h. Quantifizierung der abgeschätzten Wahrscheinlichkeit im Rahmen einer Risikocharakterisierung.

Sofern im Rahmen des ersten Schrittes überhaupt keine Gefahr durch einen Emissionsstrom festgestellt wird, ist die Anwendung eines stufenweisen Verfahrens hinfällig.

Das vorerwähnte stufenweise Verfahren charakterisiert das Risiko und stellt fest, wer oder was ein Risiko darstellt sowie die Niveaus, Quellen und die Pfade der Exposition. Der nächste Schritt – als ein Ergebnis des Risikobewertungsprozesses – besteht in der Reduktion des Risikos und den Auswirkungen eines Schadereignisses [cww/tm/132]. Auf diese Weise kann die Risikobewertung nützliche Empfehlungen zur Verbesserung der Behandlungsanlagen sowie für die Entwicklung von Vermeidungs- und Verminderungsmaßnahmen liefern. Mit der Risikobewertung könnte herausgefunden werden, dass z. B.:

- ein emittierter Strom toxische Eigenschaften aufweist, die seine Emission in die Umwelt überhaupt nicht zulassen. Als Konsequenz wird eine vollständige Verminderung oder Recycling erforderlich.
- die Installation eines Prozesses nicht möglich sein könnte, da das betroffene Medium bereits zu einem solchen Ausmaß vorbelastet ist, dass eine zusätzliche Belastung zu einer gefährlichen Expositionssituation führen würde
- eine andere Art der Behandlung im Vergleich zu herkömmlicheren Techniken von Vorteil sein könnte
- eine Änderung des Produktionsprozesses zur Erfüllung von Umweltqualitätsanforderungen erforderlich sein könnte.

Der Entscheidungsprozess für geeignete Maßnahmen fällt nicht in den Bereich der Risikobewertung. Sozioökonomische und politische Erwägungen können diese Entscheidung beeinflussen. Es ist deshalb wichtig, die rein auf technischen Daten basierende Risikobewertung von diesem politischen Prozess zu trennen [cww/tm/132], der normalerweise Risiko-Nutzen-Betrachtungen einschließlich der damit verbundenen Kosten beinhaltet und oft subjektive Beurteilungen zur Folge hat. Diese Überlegungen werden im BVT-Referenzdokument über wirtschaftliche Aspekte und Verlagerungsaspekte berücksichtigt.

Es gibt Computerprogramme für die Anwendung von Risikobewertungsverfahren [cww/tm/84].

2.2.3.2 Benchmarking

Benchmarking ist ein Verfahren zum Vergleich der erreichten Leistungen einer Anlage oder eines Standorts mit denen anderer Anlagen beziehungsweise Standorte. Für den Betreiber ist es ein Instrument zur Beurteilung seiner Leistungsfähigkeit, z. B. seiner Art des Abwasser- und Abgasmanagements oder Behandlung im Vergleich zu ähnlichen Fällen anderenorts. Die zentralen Elemente sind das Berechnungsverfahren für die Rangliste und die Verifizierung der vorliegenden Leistungsdaten. Das Benchmarking kann ein Instrument zur Verbesserung der Umweltverhältnisse an einem Standort sein.

2.2.3.3 Lebenszyklusanalyse (LCA)

Zur LCA gehört der Vergleich potenzieller Umweltauswirkungen durch verschiedene Betriebsweisen. Die wichtigsten Untersuchungsgegenstände sind Produkte und Dienstleistungen, aber sie kann auch auf Anlagen und Entsorgungswege übertragen und so auch auf den Inhalt dieses Dokuments angewendet werden. Die LCA besteht aus folgenden Teilen [cww/tm/132]:

- Definition des Ziels und des Geltungsbereichs
- Auswertung der Bestandsaufnahme einschließlich der Material- und Energieflüsse als Input und Output über den gesamten Lebenszyklus
- Verträglichkeitsprüfung, die zur Bestimmung der potenziellen Umweltauswirkungen führt
- Interpretation der Ergebnisse, die für die Auswahl der ökologisch verträglichsten Variante verwendet werden

Die LCA befindet sich noch in der Entwicklung, wobei die Auswertung der Bestandsaufnahme den höchsten und die Interpretation den niedrigsten Entwicklungsstand aufweist. Trotz des teilweise subjektiven Bewertungsverfahrens ist die LCA ein sehr gutes Entscheidungsinstrument, da komplexe Zusammenhänge systematisch auf vergleichsweise wenige Datensätze reduziert werden können. Die LCA wird im Rahmen anerkannter Regeln durchgeführt, wie [cww/tm/132]:

- ISO 14040: Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen,
- ISO 14041: Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz,
- ISO 14042: Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Wirkungsabschätzung,
- ISO 14043: Umweltmanagement – Produkt-Ökobilanz – Auswertung.

Die LCA berücksichtigt nur Umweltaspekte, ist also nur ein Bestandteil bei der Entscheidungsfindung, während wirtschaftliche und soziale Aspekte additiv und nicht integriert sind und so einen Zusatz zum Ergebnis der LCA darstellen. Mit Hilfe der LCA kann die Umweltrelevanz der Untersuchungsgegenstände, z. B. Produktionslinien und Behandlungstechniken in einer klaren und nachvollziehbaren Art und Weise bestimmt werden, was die Grundlage der ökologischen Optimierung darstellt, d. h. die Auswahl von ökologisch „besseren“ Alternativen. Die LCA kann zur Bestimmung folgender Punkte herangezogen werden:

- die ökologisch optimalen Entsorgungswege
- die ökologische Rentabilitätsgrenze für das Recycling und für andere Umweltschutzpraktiken
- Schwachpunkte im Lebenszyklus des Untersuchungsgegenstandes
- Prioritäten für notwendige Maßnahmen [cww/tm/132]

Wegen der für die LCA verwendeten Methodik gibt es Einschränkungen, wie [cww/tm/132]:

- die Umweltbelastungen eines Untersuchungsgegenstandes können nicht in absoluten Werten bestimmt werden, sondern nur relativ, da die wahre Umweltauswirkung nicht ermittelbar ist
- es können keine allgemein gültigen Rückschlüsse auf die Umweltverträglichkeit der Stoffe, Hilfsmittel und Medien gezogen werden, da weder ihr beabsichtigter Einsatz noch ihr zu erwartender Nutzen bekannt sind
- allgemeine Aussagen zu den Entsorgungswegen können nur dann getroffen werden, wenn die Vergleichswerte für den anfallenden Abfall bekannt sind (was normalerweise nicht der Fall ist).

Die LCA kann keine Entscheidungen diktieren, sondern stellt lediglich eine Hilfe bei ihrem Zustandekommen dar. Deshalb ist es bei fehlender Betrachtung des Zustandekommens eines LCA-Ergebnisses nicht ausreichend, eine umweltbezogene Entscheidung allein auf die Grundlage dieses Ergebnisses zu stellen.

2.2.4 Sicherheits- und Notfallinstrumente

Da an allen Chemiestandorten das Potenzial für beträchtliche Schädigungen der Umwelt und die Bedrohung der Wasserversorgung und der öffentlichen Gesundheit besteht, müssen Maßnahmen zur weitestgehenden Vermeidung der Risiken ergriffen und auf Unfälle so reagiert werden, dass die Auswirkungen minimiert werden. Deshalb ist es Aufgabe der Ingenieure, die Anlagen so auszulegen und zu betreiben, dass keine Unfälle auftreten können, gleichwohl es einschlägige Erfahrung ist, dass dies nicht in allen Fällen erfolgreich bewerkstelligt wird.

Unbeabsichtigte Freisetzungen von Chemikalien und Öl stellen bei Chemiestandorten offensichtliche Bedrohungen dar. Allerdings können auch Stoffe, die für den Menschen nicht gefährlich sind, schwerwiegende Umweltprobleme verursachen, wie z. B. das bei einem Brandereignis anfallende Löschwasser. Der Umweltschaden kann lange andauern, im Falle von Grundwasser kann er Jahrzehnte oder gar länger anhalten. Flüsse, Kanäle, unterirdische Leitungen, Entwässerungen, Wasserverteilungssysteme und andere Versorgungs-/Entsorgungssysteme sind vorhandene Wege für den Schadstofftransport in die Umwelt und die Auswirkungen einer Einleitung können in einiger Entfernung vom Standort auftreten. In vielen Fällen können große Umweltschadensfälle durch vorhandene oder unmittelbar verfügbare und geeignete Vermeidungsmaßnahmen vermieden werden. Der Gefahrenabwehrplan ist der Schlüssel zum Erfolg und sowohl Vermeidungsmaßnahmen als auch Strategien zur Beherrschung von Störfällen müssen als Managementinstrument sorgfältig ausgearbeitet werden [cww/tm/147].

Durch Betriebsstörungen bedingte Freisetzungen von Gas in die Umwelt sind durch geeignete Sicherheitseinrichtungen und sorgfältigen Betrieb der Anlagen zu vermeiden, da in den meisten Fällen gasförmige Emissionen nicht erfasst werden können. Ausnahmen bestehen bei leicht wasserlöslichen Gasen wie Säuren oder Ammoniak, die mit einem Wasservorhang niedergeschlagen werden können und so zu einem Gegenstand der Abwasserbehandlung werden.

Schadstoffe können von einem Standort über eine Reihe von Wegen in die aquatische Umwelt gelangen, wie [cww/tm/147]:

- über die Oberflächenwasserentnahmesysteme des Standorts, entweder direkt oder über externe Oberflächenwasserkanalisationen
- direkter Abfluss in nahe Wasserläufe oder auf den Boden mit dem potenziellen Risiko der Grundwasserkontamination
- über ein undichtes Entwässerungssystem mit Schadstoffen, die die Kläranlage entweder unverändert durchlaufen oder ihre Leistungsfähigkeit beeinträchtigen, was zu weiteren Umweltschäden führt
- über atmosphärische Deposition, wie Dampfschwaden.

2.2.4.1 Management von Löschwasser und von bedeutenden unbeabsichtigten Freisetzungen

Das Hauptaugenmerk beim Management von Löschwasser und unbeabsichtigten Freisetzungen gilt den Auffangraumstrategien und den Einrichtungen zur Bewältigung dieser Freisetzungen. Es sollten jedoch auch andere Managementinstrumente wie betriebliche und strategische Instrumente in Betracht gezogen und durch Gefahren- oder Schadensfallabwehrpläne unterstützt werden (siehe Abschnitt 2.2.4.2), um die Auswirkung jeglichen unvorhergesehenen Ereignisses zu reduzieren [cww/tm/147].

Der erste Schritt besteht jedoch in den Brandbekämpfungsstrategien und in möglichen Verfahren zur Reduzierung der anfallenden Löschwassermenge, z. B. durch Einsatz von Sprühnebel anstelle von Wasserstrahlen, durch die Kontrolle des Brandes und möglicherweise durch Recycling des Löschwassers, wo dies sicher und praktikabel ist [cww/tm/147].

Auffangsysteme

Bei Chemiestandorten kann es eine oder sogar mehrere Ebenen eines Auffangsystems geben. Für die Entscheidung über das geeignete Anforderungsniveau eines Auffangsystems ist eine Risikobewertung hilfreich (siehe

Abschnitt 2.2.3.1). Der Betreiber sollte dazu die am Standort vorhandenen gefährlichen Stoffe, die Risiken durch Unfälle, Feuer, Überschwemmungen und mutwillige Zerstörung, das mögliche Versagen der primären Auffangsysteme (d. h. der Tank oder Behälter, in dem der Stoff gelagert wird), die Empfindlichkeit der betreffenden Umweltverhältnisse und die Bedeutung der Vermeidung jeglicher resultierender Emissionen in die Umwelt in Betracht ziehen.

In vielen Fällen verhindert das primäre und anlagenbezogene Auffangsystem (Tanktassen) die von einem Ereignis potenziell ausgehenden Umweltverschmutzung. Allerdings können dort, wo ein anlagenbezogenes Auffangsystem nicht zur Verfügung steht oder die Risikobewertung die Erfordernis zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen ergibt, z. B. zum Auffangen von abfließendem Löschwasser in einer Menge von bis zu mehreren tausend Kubikmetern, zentrale Auffangsysteme zum Einsatz kommen. Diese können unabhängig oder in Kombination mit den anlagenbezogenen Auffangsystemen eingesetzt werden. Dies gilt für jegliche Freisetzungen von einer kleinen Fläche, für einen Teil des Standorts bis hin zu einer Reihe von großen einzelnen Anlagen. Sie können zum Schutz sowohl von Oberflächenwasser- als auch von Abwasserkanalisationssystemen erforderlich sein [cww/tm/147].

Bei der Bewässerung eines zentralen Auffangsystems muss folgendes berücksichtigt werden:

- Die potenzielle Schadwirkung des verunreinigten Löschwassers (Bewertungsverfahren auf der Grundlage der R-Sätze können angewendet werden sowie Systeme wie das deutsche VCI-Konzept für die Löschwasser-Auffangkapazität, wenn die entsprechende Gefährdungsklasse gegeben ist)
- die anlagenbezogene Kapazität (d. h. die Kapazität des Behälters, in dem die Lagerung oder der Umgang des Stoffes erfolgt)
- die potenzielle Regenwassermenge im Laufe eines unvorgesehenen Ereignisses
- Lösch- und Kühlwasser
- Schaum (als Brandbekämpfungsmittel)
- dynamische Vorgänge, wie anfängliche flüssigkeits- oder windbedingte Wellen

Zentrale Auffangsysteme können bestehen aus:

- Auffangteichen (oder Erdbecken), wenn die Topographie des Standorts und die Untergrund- und Bodenverhältnisse dafür geeignet sind und die Teiche nachhaltig undurchlässig sind
- für diesen Zweck errichtete Tanks; ihre gegebene Größe, Bemessungsnormen und Schutzausrüstungen werden durch die Risikobeurteilung des Standorts, die Aufenthaltsdauer und durch Menge und Art des gespeicherten Mediums beeinflusst
- Verschlussventile und Wehre, die manuell betrieben oder mittels automatischen Sensoren angesteuert werden, um einen Teil des Gesamtstandorts abzutrennen
- Ölabscheider

Obwohl bei vielen Standorten ständig verfügbare Auffangeinrichtungen vorhanden sein sollten, können Umstände auftreten, durch die eine unbeabsichtigte Freisetzung von Stoffen mit solchen Einrichtungen nicht beherrscht werden kann, z. B. wenn sie außerhalb eines Auffangbereiches auftritt. In anderen Fällen, besonders bei kleineren Standorten, können Löschwasserauffangeinrichtungen aus Kosten- und Platzgründen undurchführbar sein. In diesen Fällen sollen vorübergehende Auffangsysteme oder Materialien zur Verminderung der Verschmutzung in Betracht gezogen werden [cww/tm/147].

Beispiele für Auffangmaßnahmen in Notfällen beinhalten [cww/tm/147]:

- Flächen, die geopfert werden und so bemessen sind, dass eine Infiltration möglich und ein Abfluss vermieden wird. Sie sind zur Vermeidung der Schadstoffausbreitung in andere Bodenschichten oder in Grundwasser mit einem undurchlässigen Dichtungsbahnsystem ausgerüstet
- Aufkantung von Parkflächen und anderen befestigten Abstellflächen
- Gruben und Gräben, die mit einer Dichtungsbahn ausgestattet sind, besonders in Gebieten, in denen leicht eine Grundwasserbeeinträchtigung eintreten kann
- mobile Tanks, überzählige Fässer und Tankfahrzeuge

Notfallmaterialien und –ausrüstung

Bei Notfällen ist eine Vielzahl von Produkten zur Beherrschung von unbeabsichtigten Freisetzungen oder zum Auffangen von Freisetzungen in Auffangbereichen verfügbar. Jegliche verwendete Materialien oder Ausrüstung müssen sorgsam gewartet und strategisch an zugänglichen Stellen angeordnet sein, die mit Angaben zur Erklä-

rung des Einsatzzwecks deutlich ausgewiesen sind. Der Umweltschadensfall-Abwehrplan (siehe Abschnitt 2.2.4.2) sollte Einrichtungen zur Vermeidung von Umweltverschmutzung sowie Materialien mit deren örtlicher Lage festlegen. Solche Materialien oder Einrichtungen sind [cww/tm/147]:

- Sand und Erde zum Aufsaugen von ausgelaufenem Öl und Chemikalien und Einsatz von Sandsäcken
- beschaffte Absorptionsmittel
- Einrichtungen und Stoffe zur Abdichtung von beschädigten Tanks
- Kanalabdichtungen
- Sperren

Es sollten Maßnahmen zur baldmöglichsten Entsorgung jeglicher unbeabsichtigter Freisetzungen, verunreinigtem Material oder Löschwasser vorgesehen werden. Wenn eine Wiederverwendung möglich ist, sollte das unbeabsichtigt freigesetzte Material in eine am Standort verfügbare Lagereinrichtung zurückgeführt werden. Sofern eine externe Entsorgung erforderlich ist, kann dies erfolgen durch [cww/tm/147]:

- einen gewöhnlichen Abfalltransporteur
- Einleitung in den Schmutzwasserkanal mit Zustimmung des Kläranlagenbetreibers
- Behandlung von Kohlenwasserstoff belastetem Wasser mittels Ölabscheider vor Ort

2.2.4.2 Umweltschadensfall-Abwehrplan

Ein Umweltschadensfall-Abwehrplan, wie er mehrmals in Abschnitt 2.2.4.1 erwähnt wird, besteht hauptsächlich aus einer Strategie zur Weitergabe aller erforderlichen Informationen auf wirksamste Art und Weise an all jene, die zuständig sein könnten. Der allgemeine Weg zur Einführung eines solchen Plans besteht aus [cww/tm/148]:

- Zurverfügungsstellung von Details über den Standort an jene, für die der Plan von Bedeutung ist
- Auflistung der wichtigsten Telefonnummern, wie Notfalldienste, zuständige Vertreter der Umweltbehörde, örtliche Wasserversorgung und Kläranlagenbetreiber, Zuständige für Gesundheit, Sicherheit und Umwelt, Schließdienst und Ansprechpartner, Fachberater
- Vorliegen eines Kanalisationsplans für den Standort, der eine übersichtliche Darstellung des Standorts enthält und der das Layout mit zugehörigen Details, die externen Einleitungsstellen für Oberflächenwasser und behandeltem Abwasser etc. zeigt
- Zurverfügungsstellung einer Öl-, Chemikalien- und Produktbestandsaufnahme für alle Stoffe, die am Standort gelagert werden mit Angabe der zu erwartenden maximalen Lagermenge einschließlich zugehöriger Datenblätter
- Details zur Verfahrensweise in Notfällen, die den Umfang der entsprechenden Aktivitäten und internen Zuständigkeiten sowie das Vorgehen beim Umgang mit Ereignissen wie der unbeabsichtigten Freisetzung von Stoffen oder undichten Tanks festlegt
- Festlegung von Regeln für die Ausbildung der Beschäftigten und für regelmäßig durchzuführende Übungen

Die Belegschaft und Fremdarbeiter des Standorts sollten diesen Plan ebenso gut kennen wie ihre Rolle bei Eintritt eines Schadensfalls.

Die beispielhafte Ausgestaltung eines solchen Umweltschadensfall-Abwehrplans ist in Anhang 7.5 wiedergegeben.

3 ANGEWANDTE BEHANDLUNGSTECHNOLOGIE

Dieses Kapital gibt die in den Abschnitten 1.3 und 2.2.2.3 angesprochenen Betrachtungen ausführlich wieder und beschreibt die Abwasser- und Abgasbehandlungstechniken mit ihrem Nutzen und ihrer Auswirkung für bzw. auf die Umwelt sowie ihre wirtschaftliche Vertretbarkeit. Allerdings werden Varianten bestimmter Technologien mit nur leichten Abweichungen vom allgemeinen Verfahren nicht separat erwähnt.

Der physikalische und chemische Hintergrund der Behandlungstechniken kann leicht in verfügbaren Fachbüchern nachgeschlagen werden, weshalb dieser in diesem BVT-Referenzdokument nicht wiederholt wird. Die in diesem Kapitel angesprochenen Betriebsweisen und Verfahren stellen end-of-pipe-Techniken dar, die in der chemischen Industrie üblicherweise zum Einsatz kommen. Sie beinhalten herkömmliche Behandlungstechniken für Emissionen aus Kraftwerken und aus der Abfallbehandlung, da große Chemiestandorte oft mit eigener Energieversorgung (Elektrizität, Dampf) und Abfallverbrennung ausgestattet sind. Für detailliertere Informationen sollten jedoch die betreffenden BVT-Referenzdokumente für große Verbrennungsanlagen zur Energieerzeugung und Abfallverbrennungsanlagen herangezogen werden. Prozessintegrierte Maßnahmen werden dann beschrieben, wenn sie allgemein und nicht in Verbindung mit speziellen Produktionsprozessen im Einsatz sind.

Die systematische Übersicht dieses Kapitels folgt dem Eintragungspfad von Schadstoffen und gibt die Techniken in Verbindung mit ihrer Anwendung an einem Chemiestandort wieder. Weitere Details sind in den Abschnitten 3.3.4 und 3.5 zu finden.

3.1 In diesem Kapitel enthaltene Information

Die Beschreibung der Behandlungstechniken folgt einem bestimmten Schema, um eine Genehmigungsbehörde bei der Umsetzung der BVT für eine Chemieanlage mit den erforderlichen Informationen zu versorgen. Die Informationen sollen auch den Betreibern bei der Einhaltung der BVT-Anforderungen und bei der Abfassung eines guten Genehmigungsantrags dienlich sein. Diese Struktur wurde gewählt, um für alle Behandlungsarten und -verfahren die Sammlung und Präsentation gleichartiger Informationen sicherzustellen und um einen Vergleich der verschiedenen Behandlungsoptionen zu ermöglichen.

Die Beschreibung der Behandlungsarten und –verfahren ist in folgende Absätze unterteilt:

- Beschreibung,
- Anwendung,
- Vorteile und Nachteile,
- Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade,
- Medienübergreifende Wirkungen,
- Überwachung,
- Ökonomische Daten

Der erste mit **Beschreibung** überschriebene Absatz umfasst die Grundlagen einer Behandlungstechnik, ohne ins Detail zu gehen. Der physikalische und chemische Hintergrund wird bewusst weggelassen. Diese Information steht durch eine Reihe von guten Fachbüchern zur Verfügung. Der Gebrauch von chemischen und mathematischen Formeln und Gleichungen wird immer dann vermieden, wenn dies ohne Informationsverlust möglich ist. Dieser Absatz bietet auch einen Überblick darüber, welche Einrichtungen mit dieser Technik verbunden sind und wie die Technik betrieben wird. Wann immer graphische Informationen verfügbar sind, entweder als Schema oder als Fließdiagramm, werden unter der Voraussetzung, dass kein Verlust notwendiger Information auftritt, diese anstelle von textlichen Erklärungen verwendet.

Der zweite mit **Anwendung** überschriebene Absatz beschreibt die übliche Art und Weise und den üblichen Anwendungsbereich der betreffenden Technik, wobei ihr Einsatz in ähnlichen Bereichen berücksichtigt wird, wenn zu erwarten ist, dass sie auch im chemischen Sektor brauchbar ist. Die Beschreibung beinhaltet auch die betreffenden zu behandelnden Schadstoffe. Die Aufzählung möglicher Anwendungsgrenzen und –beschränkungen ist Bestandteil dieses Absatzes.

Der dritte mit **Vorteile und Nachteile** überschriebene Absatz versucht einige Nutzeffekte und Probleme in Verbindung mit jeder Technik zu umreißen. Dabei sind die grundlegenden Gesetze der Massen- und Energieerhaltung zu beachten, die es nicht erlauben, dass gar keine Emissionen, und sei es nur in Spuren, in die Umwelt entlassen werden.

Der vierte mit **erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade** überschriebene Absatz gibt die Leistungsfähigkeit der Technik wieder. Er führt die erreichbaren Emissionswerte und/oder Wirkungsgrade auf. Bei den aufgeführten Werten handelt es sich um solche, die unter regelmäßig guten Betriebsbedingungen zu erwarten sind. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Werte unter allen Umständen und bei allen Anwendungsfällen erreichbar sind. Die Erklärung der Begriffe „erreichbare Emissionswerte“ enthält Abschnitt 4.1. Wirkungsgrade werden auf die Rohfracht bezogen mit der Folge, dass niedrige Eingangswerte zu niedrigen Wirkungsgraden (Prozentsätzen), während hohe Eingangswerte zu hohen Wirkungsgraden führen, gleichwohl die Restkonzentration noch hoch sein kann.

Der fünfte mit **Medienübergreifende Wirkungen** überschriebene Absatz gibt die Auswirkung auf die Umwelt wieder, die sich aus dem Einsatz dieser Technik ergibt, z. B. Anfall von Schlamm, Abwärme, Abgase, Geruch etc. sowie der Verbrauch von Einsatzstoffen, wie Wasser, Energie und Hilfsstoffe.

Der sechste mit **Überwachung** überschriebene Absatz beschreibt die Ermittlung des Inputs, des Outputs und des Normalbetriebs der technischen Einrichtungen in Übereinstimmung mit der besten Überwachungspraxis.

Der siebte Absatz hat die **Ökonomischen Daten** zum Gegenstand. Er versucht Informationen zu den Kosten der betreffenden Technik zu unterbreiten, soweit diese Informationen zur Verfügung gestellt werden. Zur Klarstellung, was in diesem Horizontaldokument unter Kosten verstanden wird, liefert Abschnitt 3.2 einige Erklärungen, ohne den Anspruch auf die Darlegung von speziellen wirtschaftlichen Aspekten zu erheben, für die die Lektüre des BVT-Referenzdokuments ökonomische und medienübergreifende Effekte empfohlen wird.

3.2 Informationen zu den Kosten in diesem Horizontaldokument

Die Kosten für die Errichtung einer neuen Technik zur Emissionsminderung, für die Nachrüstung bestehender Technologien oder für die Einführung von prozessintegrierten Maßnahmen hängen weitgehend von standortspezifischen und produktionsspezifischen Aspekten ab. Folglich haben absolute Kosten bei einem horizontalen Ansatz für den konkreten Bau oder die Installation einer Behandlungstechnologie keinen wirklichen Informationsgehalt, da sie überhaupt nicht vergleichbar sind. Die Kosten für die Errichtung der geeigneten und erforderlichen Infrastruktur sind auch nicht enthalten. Ein anderer wichtiger Faktor bei der Auswahl einer geeigneten Behandlungstechnik ist die Amortisationszeit für eine prozessintegrierte Maßnahme. Da die anfallenden Kosten stets anlagen- oder prozessspezifisch sind, können sie in diesem Horizontaldokument nicht in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Allerdings werden die Kosten der gelieferten Anlagen/Einrichtungen in Bezug auf die Produktionskapazität, den Abwasser-/Abgasvolumenstrom oder die Schadstofffracht angegeben (d. h. Kosten je Tonne Produkt, m^3 Abwasser oder 1000 Nm^3 Abgas oder kg eines Schadstoffs). Die bei der Ermittlung von Kostenangaben zu berücksichtigenden Punkte sind in diesem Dokument nicht generell enthalten, da ihre standort- und prozessspezifischen Merkmale in den folgenden Abschnitten erläutert werden [cww/tm/48].

3.2.1 Gegenüberstellung der Gesamtkosten zu den Kosten für die gelieferten Anlagen/Einrichtungen

Beim Versuch der Bestimmung der Kosten von Techniken zur Emissionsminderung wird oft davon ausgegangen, dass es am einfachsten ist, diejenige Technik auszuwählen, die die vorliegenden Anforderungen am besten erfüllt, und beim Hersteller eine Kostenangabe anzufordern. Dieser Ansatz ist zwar schnell und bequem, führt aber zu äußerst ungenauen Schätzungen der tatsächlichen Kosten der Emissionsminderungstechnik. Beim Vergleich von technischen Möglichkeiten erfolgt dieser Ansatz auf einer absoluten Basis, wie Kosten je reduzierter Emissionseinheit sowie auf einer relativen Basis. Bei den verschiedenen Techniken kann die Zusammensetzung der einzelnen Kostenstellen und der verschiedenen Kostenarten, die in Summe die Gesamtkosten ergeben, oft sehr unterschiedlich sein. Typischerweise macht der Zukauf der wichtigsten Anlagenteile 20-30% aus; er kann aber auch bei nur 10% liegen.

Der relative oder absolute Vergleich der Betriebskosten verschiedener Minderungstechniken muss ebenso kritisch angegangen werden. Dies kann bei ausschließlicher Betrachtung der Anlagenkosten übersehen werden, wie es oft mit Blick auf die Einführung von Techniken passiert. Wichtig ist die Berücksichtigung der Tatsache, dass die Betriebskosten einzelnen Technologien in Abhängigkeit von der Inanspruchnahme von Einrichtungen, dem Hilfschemikalienverbrauch, den Arbeitskosten, dem Ausmaß des Abfallanfalls und den Kosten für die Abfallentsorgung etc. stark schwanken können.

Die Kosten der gelieferten Anlage beinhalten üblicherweise nur die Kosten für die technischen Einrichtungen. Diese machen oft nur einen Bruchteil der Gesamtkosten eins Projektes aus. Die zusätzlich anfallenden Kosten für die Ingenieurleistungen und die Projektsteuerung/-überwachung werden oft ignoriert, können aber durchaus genauso hoch wie die für die technischen Einrichtungen sein. Ausgaben, an die bei der Kostenschätzung eines Projektes oft nicht gedacht werden, beinhalten Kosten für erforderliche Maßnahmen wie:

- Verlagerung von bestehenden Anlagen,
- Produktionsstillstand während der Nachrüstung,
- Vergrößerung und/oder Verlegung von bestehenden Abwasserkanälen,
- Durchführung von Bodenuntersuchungen,
- Entwicklung von Ausführungsplänen, Prozess- und Regelungsdiagrammen (RI-Fließbilder),
- Änderung von bestehenden Rohrleitungen und Einrichtungen, wie Gebläse, Pumpen etc.

In Tabelle 3.1 [cww/tm/48] ist ein Beispiel der Kosten für die Errichtung einer Abgasreinigungsanlage einer Raffinerie wiedergegeben, wobei die Kosten in EUR für das Jahr 1997 angegeben sind. Die unmittelbaren Kosten für die technischen Anlagen – Kosten der gelieferten Anlage – betragen im Vergleich zu den Gesamtkosten in Höhe von 29,4 Millionen EUR 7,9 Millionen EUR, d. h. lediglich 27 % der Gesamtkosten.

Beschreibung	Millionen EUR
Anlagenkosten (Kosten der Lieferanten)	
Hardware	7,3
Katalysatoren und Chemikalien	0,6
Zwischensumme	**7,9**
Indirekte Kosten	
Detailengineering	8,0
Bauüberwachung	1,6
Eigentümer	2,4
Zwischensumme	12,0
Direkte Kosten – keine Anlagenkosten	
Unteraufträge	8,6
Hilfskonstruktionen und Verbrauchsmaterialien	0,4
Zwischensumme	9,0
Gesamte Kapitalkosten	28,9
Ausgaben	
Genehmigungsgebühr	0,5
Zwischensumme	0,5
Gesamtsumme	**29,4**

Tabelle 3.1: Example of Costs of an Actual Project

3.2.2 Kosten für neue Anlagen "auf der grünen Wiese" im Vergleich zu den Kosten für die Nachrüstung bestehender Anlagen

Anlagen "auf der grünen Wiese" und bestehende Anlagen erfordern im Wesentlichen die gleiche Technologie zur Verbesserung der Umweltleistung (z. B. Verminderung bestimmter Schadstoffe und Einhaltung festgelegter Emissionsgrenzwerte). Die Unterschiede zwischen diesen beiden Fällen sind im Wesentlichen durch den Umstand bedingt, dass bei einer Anlage „auf der grünen Wiese" sichergestellt werden kann, dass alle wesentlichen Anforderungen bei der Planung der Anlage ausdrücklich berücksichtigt werden können. Im Falle einer Nachrüstung (oder Erneuerung) kann die ursprüngliche Verfahrenswahl von begrenzter Anwendbarkeit oder möglicherweise sogar unmöglich sein. Dies kann zu anderen verfügbaren oder sogar zu bevorzugenden Verminderungstechniken führen.

Die konkrete Bewertung der Eignung einer nachzurüstenden Technik ist erforderlich, aber viele der in den folgenden Abschnitten dieses Kapitels erwähnten Techniken sind bereits erfolgreich in chemischen Anlagen nachgerüstet worden und erbringen eine Reinigungsleistung, die der neuer Anlagen ebenbürtig ist. Bei Projekten zur

Erneuerung von bestehenden Anlagen oder Standorten stößt man auf eine Reihe von technischen und Managementproblemen, von denen die geläufigsten nachfolgend skizziert sind. Diese Probleme sind keine Ausflüchte zur Umgehung von einzuführenden Umweltschutztechniken, sondern stellen einige Faktoren im Zusammenhang mir der Erneuerungen von Anlagen dar:

- eine komplexere und zeitraubendere Projektierungsphase;
- Testläufe und Pilotstudien zur Bewertung der Auswirkung einer Änderung auf den gesamten Prozess;
- die Auswirkungen auf alle bestehenden Einrichtungen im Auslegungsstadium in Betracht ziehen;
- Übersichten über alle bestehenden Anlagen in der Phase des Detailengineerings zur genauen Festlegung aller Schnittstellen. Die räumlichen Gegebenheiten können Einschränkungen bedingen (z. B. Anlagen(teile), die auf erhöhtem Niveau angeordnet sind, Leitungsführung, Erfordernis, einige bestehende Anlagen zu versetzen, Bau von vorübergehenden technischen Einrichtungen);
- Spezielle Vorsorgemaßnahmen, damit die Arbeiten sicher und ohne Schäden durchgeführt werden können, sogar wenn der Betrieb der Anlage weiter läuft;
- die Gelegenheit einer geplanten Anlagenabstellung (Überholung) zur Ausführung jeglicher Baumaßnahmen nutzen, die bei Normalbetrieb nicht bewerkstelligt werden können. Da diese Situation nur alle paar Jahre auftritt, bestimmt er den Nachrüstungszeitpunkt;
- ein längeres oder früheres Herunterfahren der Anlage als geplant (mit geschäftlichen und finanziellen Auswirkungen);
- die Außerbetriebnahme und der Abbruch von alten, überflüssigen Anlagen(teilen);
- Ausbildung des Personals hinsichtlich des Betriebs neuer Anlagen(teile);
- zu überarbeitende Anlagendokumentation (z. B. Betriebsanweisungen, Änderung der Genehmigung, Handbücher für die Wartung, Überwachung und Sicherheit).

Zusätzlich zum primär angestrebten Ziel des verbesserten Umweltschutzes kann die Nachrüstung von Chemieanlagen auch andere bedeutende Vorteile bringen. Einige Techniken (z. B. Vorbehandlungstechniken mit der Möglichkeit stofflicher Rückgewinnung, prozessintegrierte Maßnahmen) können eine bedeutende wirtschaftliche Rentabilität bieten, z. B. durch höhere Effizienz und Ausbeuten oder durch Einsparung von Wasser und Energie bedingte Kostenreduktionen (oder verminderte Abwasserabgabe in den Fällen, in denen ein Abwasserabgabensystem vollzogen wird), die die Investitionen und Betriebskosten der Nachrüstung aufwiegen. Nachrüstungen können auch einen Wettbewerbsvorteil bringen, da den Kunden und den Interessensvertretern (z. B. Aktionäre, örtliche Gemeinden, Genehmigungsbehörden und Umweltgruppen) die Einführung innovativer Technologie vor Augen geführt wird.

Überlegungen, ob eine Technologie die geeignete Technik für die Nachrüstung in einem konkreten Fall darstellt, haben primär damit zu tun, dass die Möglichkeiten in der bestehenden Anlage zu den verfahrenstechnischen, physikalischen und strukturellen Anforderungen der Technik zur Emissionsminderung passen. Bei jedweder Auswahl von Techniken ist die Unterscheidung ihres Einsatzes in neuen oder in bestehenden Anlagen ein entscheidender Punkt. Soweit verfügbar, sind in diesem Kapitel Informationen zum Potenzial der Nachrüstbarkeit einer Technik dargelegt.

3.2.3 Gegenüberstellung von Kapital- und Betriebskosten

Die unterschiedlichen Minderungstechniken (Minderung mittels Anlagen oder prozessbezogene Techniken) können in Beug auf die Verteilung zwischen Kapital- und Betriebskosten sehr unterschiedlich sein. Einige teure Anlagen können niedrige Betriebskosten aufweisen, während sehr kostengünstige Anlagen mit einem sehr starken Anstieg der Betriebskosten, wie Lohnkosten, Energie- oder Chemikalienverbrauch verbunden sein können. Im Allgemeinen ist es einfacher, die Kosten für die Anlagen als solche anzugeben als alle Folgekosten, die mit einer Technik verbunden sein können. Zudem werden Anlagenteile aufgrund der Inflation etc. mit der Zeit teurer.

Die Lohnkosten stellen hinsichtlich der Betriebskosten einen wichtigen Faktor dar und können sich in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Lohnkosten in den Mitgliedsstaaten auf die Entscheidung für oder gegen eine Technik unterschiedlich auswirken. Wenn in diesem Dokument Lohnkosten angegeben sind, werden deshalb, sofern verfügbar, auch (oder anstelle) die Arbeitsstunden angegeben.

3.2.4 Gestehungskosten für erste Anlagen zur Emissionsminderung im Vergleich zu zusätzlichen Kosten bei bestehenden Anlagen

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Betrachtung der Kosten einer bestimmten Technik ist die sich ändernde Kosteneffizienz in Abhängigkeit vom Verminderungsniveau, von dem die Berechnung der Kosteneffizienz ausgeht. Normalerweise werden bei der Installierung oder Einführung einer Technik die Kosten und die Wirksamkeit – Angabe als Wirkungsgrad der Emissionsminderung oder in Tonnen reduzierter Emissionen – im Vergleich zum Betrieb ohne Emissionsverminderung angegeben. In einem solchen Fall lässt sich die Kosteneffizienz leicht durch Division der Kosten durch die erreichte Emissionsminderung errechnen.

Es gibt viele Fälle, bei denen innerhalb bestimmter Industriestandorte bereits ein bestimmtes Verminderungsniveau vorliegt. In diesen Fällen sind die Kosten für das Erreichen eines vorgegebenen Verminderungsziel, im Vergleich zur ursprünglichen Kosteneffizienz mit Bezug auf ein Niveau ohne Minderungstechnik, bedeutend höher. Dies muss bei der Bestimmung der Kosteneffizienz einer Technologie oder Technik berücksichtigt werden.

Vor diesem Hintergrund kann die Kosteneffizienz für zusätzliche Minderungskosten wie folgt berechnet werden:

$$K_{eff} = (B - A)/C$$

B: Emissionsminderung der betrachteten Technik [kg]
A: Emissionsminderung der bereits installierten Technik [kg]
C: Kosten der betrachteten Technik

3.3 Abwasserbehandlungstechniken

3.3.1 Prozessintegrierte Maßnahmen

Einige wichtige – normalerweise leicht nachrüstbare – produktionsintegrierte Maßnahmen im Abwasserbereich sind nachfolgend beschrieben. Einige anschauliche Beispiele sind in Abschnitt 3.3.1.3. erwähnt. Allerdings muss ihre Umsetzung, z. B. von Wassersparmaßnahmen, sorgfältig bewertet werden. Obwohl diese Maßnahmen der Umwelt normalerweise zuträglich sind, können sie unter bestimmten Umständen zu negativen Auswirkungen auf andere Umweltkompartimente führen, was den Nutzen der Wassereinsparung oder der Schadstoffverminderung einschränken kann.

3.3.1.1 Gegenstromextraktion als Beispiel für wassersparende Verfahren

Herkömmliche Verfahren zur Produktwäsche stellen Mehrfachextraktionen dar, bei denen das Produkt diskontinuierlich mit Wasser zur Entfernung von Salzen oder anderen löslichen, in niedrigen Konzentrationen vorliegenden Komponenten behandelt wird. Die eingesetzte Wassermenge beträgt im Allgemeinen ein Vielfaches der zu waschenden Produktmenge. Bei jedem einzelnen Extraktionsschritt treten wegen seiner Löslichkeit, der Emulsionsbildung und der Bildung von festen Phasen an der Phasengrenze etc. unvermeidbare Verluste auf.

Durch die Optimierung des Extraktionsprozesses und/oder durch die Einführung von fortschrittlichen Extraktionsverfahren, wie der Gegenstromextraktion, kann eine beträchtliche Reduktion der Abwassermenge (und des Abfalls) erreicht werden. Die gleichzeitige Erhöhung der Schadstoffkonzentration könnte eine leichtere und/oder effizientere Behandlung ermöglichen, oder, unter bestimmten Umständen, ein stoffliches Recycling. Das Ausmaß und die Art der Optimierung hängen von der Produktionskapazität und von der regelmäßigen Durchführung der Chargenproduktion ab. Die Gegenstromextraktion ist speziell bei Großanlagen wirtschaftlich. Dann kann sie auf einen bestimmten Produktionsprozess zugeschnitten werden. Bei Anlagen mit geringen Produktmengen, Produktionen im Pilotmaßstab und bei selten durchgeführten Kampagnenproduktionen sind andere Verfahren besser geeignet.

3.3.1.2 Mehrfachverwendung und Recyclingverfahren

Es ist zu unterscheiden zwischen:

- Abwasser, das direkt in der Produktion anfällt (z. B. Reaktionswasser, Destillate, Waschwasser, Filtrate),
- Abwasser, das bei der Reinigung der Anlage oder Anlagenteilen anfällt (z. B. im Laufe von Wartungsarbeiten, bei Spülvorgängen bei Verstopfungen oder Produktverbackungen, bei der Reinigung von Mehrzweckanlagen aufgrund Kampagnenproduktion oder bei Produktwechsel).

Spezifische Behandlungsschritte zur Entfernung störender Inhaltsstoffe können die Effizienz einer Rückführungsmaßnahme verbessern. So können zum Beispiel die Neutralisation, Strippung oder Filtration von Prozesswasserströmen die Wiederverwendung von Wasser ermöglichen, z. B. als Rohwasser oder für die Brauchwasserversorgung. Die Wiederverwendung von Prozesswasser (zubereitetes Wasser, Mutterlaugen) ist dann möglich, wenn Inhaltsstoffe, wie Nebenprodukte oder Salze, die nachfolgenden Produktionsschritte nicht nachteilig beeinflussen. Tatsächlich können bei mehrstufigen Produktwäschen einzelne Waschwässer häufig für vorhergehende Waschschritte verwendet werden.

Zusätzlich zur Reduktion der Abwasserbelastung hat die Wiederverwendung von Wasch- und Spülwasser sowie von Wasser aus der Anlagenreinigung den Vorteil der Produktrückgewinnung und der Ausbeuteerhöhung, soweit das Wasser unmittelbar in den Produktionsprozess rückgeführt wird. Dies erfordert Einrichtungen zur Erfassung, zum Ausgleich oder Speicherung von Abwasser, was ein begrenzender Faktor sein kann.

3.3.1.3 Indirekte Kühlung von Dämpfen

Zur Kühlung oder Kondensation von Dämpfen wird das Eindüsen von Wasser in die Gasphase praktiziert. Allerdings fallen durch den direkten Kontakt von Wasser und Dampf große Abwassermengen an, die mit den in der Dampfphase enthaltenen Verunreinigungen belastet sind. Durch die Einführung von Oberflächen-Wärmetauschern anstelle solcher Kondensatoren/Kühlern mit Wassereindüsung wird der Anfall belasteter Kühlwasserströme vermieden, da die Schadstoffe im Kondensat verbleiben. Auf diese Weise führt die indirekte Kühlung/Kondensation zu Wassereinsparungen. Um einen Anhaltspunkt für das Einsparpotenzial zu geben sei angeführt, dass zur Kühlung von einer Tonne Dampf auf 35°C (diese Temperatur wird im Allgemeinen als maximale Einleitungstemperatur akzeptiert) ungefähr 27m^3 Wasser erforderlich sind. Bei der indirekten Kühlung wird diese Menge in einem Kühlwasserkreislauf geführt [cww/tm/82], wobei nur die Verdampfungsverluste ergänzt werden.

Die Wassereinsparung kann durch verschleppte Partikel, sublimierte Stoffe, Kristalle oder Verbackungen Beläge auf den Wärmetauscheroberflächen bilden oder die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherflächen verstopfen, sodass eine regelmäßige Wartung erforderlich ist.

Es gibt allerdings auch Prozesse, bei denen eine Umstellung auf Indirektkühlung nicht geeignet ist [cww/tm/82]:

- Für die Kristallisation kann es erforderlich sein, eine flüssige organische Phase intensiv mit warmem oder heißem Wasser intensiv zu verrühren, um anschließend die Mischung durch Zugabe von Eis oder kaltem Wasser sehr schnell unterhalb der Erstarrungstemperatur abzukühlen (‚Temperaturschock'). Das Ziel dieser Vorgehensweise ist es, eine filtrierbare Suspension ohne Klümpchen oder Klumpen zu erhalten.

- Ein anderes Beispiel ist die Diazotierung von Aminen. Bei diesem Prozess wird die Temperatur durch Zugabe von Eis auf einem konstant niedrigen Niveau gehalten, um die thermische Zersetzung der Diazoniumverbindung oder ihre Ablagerung auf Anlagenteilen zu vermeiden, was sonst ein beträchtliches Explosionsrisiko bedeuten würde.

- Ein weiteres Beispiel ist das Quenchen von heißen Abgasströmen. Dabei wird in das Abgas kaltes Wasser eingedüst, um dessen Temperatur so wirksam und schnell zu erniedrigen, dass Reaktionen von Abgasinhaltsstoffen vermieden werden (z. B. Rekombinationsreaktionen im Rauchgas aus Verbrennungsprozessen, die zur Bildung von PCDD oder PCDF führen) und gleichzeitig Schadstoffe (z. B. HCl) reduziert werden.

3.3.1.4 Abwasserfreie Verfahren der Vakuumerzeugung

Aufgrund ihres nahezu störungsfreien Betriebs, ihres niedrigen Wartungsbedarfs und ihrer niedrigen Kosten werden Wasserstrahl- und Dampfstrahlvakuumpumpen verbreitet eingesetzt.

Die abwasserfreie Vakuumerzeugung kann durch den Einsatz von mechanischen Pumpensystemen mit Betrieb im geschlossenen Kreislauf durch Ableitung von kleinen Abwassermengen im Zuge der Abschlämmung oder mittels trocken laufender Pumpen bewerkstelligt werden. Die Abwassermenge beträgt weniger als 5 % der eines Durchlaufsystems [cww/tm/82]. In einigen Fällen kann die abwasserfreie Vakuumerzeugung durch den Einsatz des Produkts als Sperrflüssigkeit in einer mechanischen Vakuumpumpe oder durch den Einsatz eines Gasstromes aus dem Produktionsprozess erreicht werden.

Die Einsatzmöglichkeit der abwasserfreien Vakuumerzeugung muss in jedem Einzelfall ermittelt werden. Bei der Auswahl des geeigneten Verfahrens müssen die potenziellen Probleme berücksichtigt werden, insbesondere was die Korrosion, die Neigung zur Krustenbildung, das Explosionsrisiko, die Anlagensicherheit und die Betriebszuverlässigkeit anbelangt. Entsprechende Anwendungs-beschränkungen sind zu berücksichtigen, besonders im Falle von mechanischen Vakuumpumpen mit geschlossenem Kreislauf, wie Flüssigkeitsringpumpen, Drehschieber- oder Membranvakuumpumpen. In diesen Fällen können z. B. die Dämpfe die Schmierfähigkeit des Öls vermindern.

Soweit eine Gaskondensation in der Pumpe vermieden wird, z. B. durch hohe Gastemperatur auf der Auslassseite, können trocken laufende Pumpen dann eine attraktive Möglichkeit darstellen, wenn Lösungsmittel zurück gewonnen werden sollen oder ein hohes Vakuum erforderlich ist. Diese Pumpen können nicht eingesetzt werden, wenn der Gasstrom große Mengen kondensierbarer, Staub bildender oder Belag bildender Stoffe enthält.

3.3.1.5 Abwasserfreie Verfahren der Abgasreinigung

Bei etwa einem Drittel der Abgasreinigungssysteme in der chemischen Industrie werden wässrige oder alkalische (Natronlauge) Waschprozesse eingesetzt. Damit werden insbesondere anorganische Stoffe, wie Chlorwasserstoff, Schwefeldioxid und wasserlösliche organische Stoffe entfernt.

Abwasserfreie Technologien der Abgasreinigung werden besonders dann eingesetzt, wenn ansonsten gefährliche oder nicht abbaubare organische Stoffe in die Abwasserbehandlungsanlage gelangen würden, wo sie zu Störungen führen oder unbehandelt in das betroffene Gewässer eingeleitet werden könnten.

Beispiele für abwasserfreie Techniken der Abgasreinigung sind:

- Erfassung und anschließende thermische oder katalytische Oxidation von energiehaltigen Abgasströmen, vorzugsweise in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung
- Einsatz von geeigneten trockenen Entstaubungsanlagen (z. B. Tröpfchenabscheider, Zyklone, Elektrofilter, Gewebefilter) zur Abscheidung von Partikeln und Aerosolen
- Einsatz von trockenen/semi-trockenen Abgasreinigungstechniken (z. B. Aktivkohleadsorption, Eindüsen von Kalk/Natriumhydrogencarbonat) bei Abgasströmen, die mit organischen oder anorganischen gasförmigen Verunreinigungen belastet sind
- Einsatz von wieder aufarbeitbaren organischen Lösungsmitteln (oder Ölen) anstelle von Wasser als Waschflüssigkeit bei bestimmten gasförmigen Verunreinigungen

3.3.1.6 Rückgewinnung von Stoffen aus aufgefangenen Mutterlaugen oder durch optimierte Prozesse

Die Rückgewinnung von Abwasserinhaltsstoffen ist mit vernünftigem Aufwand normalerweise nur aus konzentrierten Abwasserströmen machbar. Deshalb ist sie üblicherweise auf Mutterlaugen beschränkt. In Abhängigkeit von den Syntheseverfahren fallen die Mutterlaugen im Allgemeinen nach der Produktabtrennung oder der Produktwäsche als wässrige Lösungen an. Die Rückgewinnung kann zum Beispiel bestehen aus:

- Abtrennung wieder verwendbarer Einzelstoffe, wie Ausgangsverbindungen, Lösungsmittel oder Katalysatoren;
- Stoffumwandlung mit anschließender Rückgewinnung des Stoffes, z. B. thermische oder katalytische Oxidation mit Chlorrückgewinnung (aus organischen Chlorverbindungen) in Form von Salzsäure.

Die Rückgewinnung von Stoffen ist bei hohen Konzentrationen im Abwasser wirtschaftlich (z. B. 10 g/l oder höher). Bei Anwesenheit von leicht abtrennbaren Stoffen, z. B. flüchtige, feste, fällbare oder extrahierbare Verbindungen, können die Rückgewinnungsverfahren sogar schon bei niedrigeren Konzentrationen wirtschaftlich sein.

Die Rückhaltung von Stoffen mittels optimierter Verfahren umfasst die Modifizierung von Verfahrensschritten sowie zusätzliche Maßnahmen, wie die Verbesserung der Mutterlaugen-aufarbeitung.

Die Rückhaltung von Stoffen kann auch – neben der Vermeidung von Schadstoffen durch die Modifikation der Formulierung oder durch die Verbesserung der Verfahrensausbeute – durch Schadstoffabtrennung, z. B. mittels Adsorption oder Extraktion, oder durch Umwandlung, z. B. durch Oxidation oder Verbrennung, erreicht werden.

3.3.1.7 Einsatz von Rohstoffen und Hilfsmitteln mit niedrigen Schadstoffgehalten

Mit verunreinigten Rohstoffen und/oder Hilfsmitteln können Schadstoffe in die Produktionskette und so ins Abwassersystem gelangen. Beispiele sind:

- Metalle aus pflanzlichen Rohfetten,
- Chlororganische Verbindungen (AOX/EOX) und andere Verunreinigungen in technischer Salzsäure,
- Quecksilber in der Natronlauge aus Chloralkalielektrolysen nach dem Amalgamverfahren,
- Schadstoffe insbesondere in Zwischenprodukten und in extern zugekauften Vorstufen.

Die Möglichkeiten des Betreibers zur Beeinflussung dieser Situation sind begrenzt durch:

- ungenügende Information durch die Lieferanten,
- erhöhte Einschleusung von Schadstoffen durch rückgeführte Stoffe,
- Verlagerung von Emissionsproblemen auf andere Stellen durch die Aufarbeitung von Rohstoffen.

Die Reinigung der Rohstoffe kann durch Hersteller durchgeführt werden, die für die Reduzierung und für die Entsorgung der zu entfernenden Schadstoffe über technische Einrichtungen verfügen, wie Harze für Salzsäure oder Filtration/Adsorption für rohe Natronlauge.

3.3.2 Mengenausgleich

Im Allgemeinen können Abwasserbehandlungsanlagen (AWBA) am effektivsten bei möglichst konstanter hydraulischer Belastung (oder Durchflussmenge) und Schmutzfracht betrieben werden. In der Praxis können jedoch sowohl die Durchflussmenge als auch die Schmutzfracht aufgrund folgender Einflussfaktoren beträchtlich schwanken:

- Verfahrensbedingungen
- Einsatz von Wasser für Waschzwecke
- Ballastwasserbehandlung
- Wartungsvorgänge
- Regenereignis

Zum Ausgleich von kurzzeitigen (z. B. täglichen) und längerfristigen (z. B. wöchentlichen) Schwankungen sollten Puffereinrichtungen in Erwägung gezogen werden, entweder dezentral bei den verschiedenen Produktionsanlagen oder zentral auf oder in der Nähe der AWBA. Manchmal können sie der AWBA auch nachgeschaltet werden. Die geeignete Kapazität eines Pufferbehälters ist eine Funktion der zu erwartenden Schwankungen

[cww/tm/132]. Der Pufferbehälter kann in Reihe oder im Nebenschluss angeordnet sein. Dem Behälter im Nebenschluss kann das Abwasser in Zeiten von Spitzenbelastungen oder bei Produktionsstörungen zugeführt werden, um es bei normalen Abflussbedingungen in bestimmter Art und Weise wieder abzuführen. Für Prozesswässer, die in die Umwelt gelangen können, werden zu diesem Zweck Tanks eingesetzt, während für die Oberflächenentwässerung offene Teiche oder Rückhalte-Erdbecken Verwendung finden (siehe Abschnitt 3.3.4.4.1) [cww/tm/48].

Das Ergebnis der Pufferung und des Mengenausgleichs besteht z. B. in:

- Ausgleich der Frachten, wie der:
  - Organischen Fracht
  - Salzkonzentrationen
  - Stickstofffracht, was beispielsweise zusammen mit der TOC-Fracht eine Voraussetzung für eine optimale Denitrifikation darstellt
- Einstellung des erforderlichen C : N : P-Verhältnisses
- Neutralisation von sauren und alkalischen Abwasserströmen
- Ausgleich der Abwasserdurchflussmenge
- Einhaltung von rechtlichen Anforderungen durch das Kappen von Spitzen bei der Abwassereinleitung

Der Mengenausgleich oder die Pufferung könnten auch als Kontrolleinrichtung für ungewöhnliche Zulaufereignisse zur AWBA eingesetzt werden. Aus diesem Grund könnte die Kapazität des Pufferbehälters nicht nur, wie oben erwähnt, durch die Schwankungen, sondern auch durch die Größe des Gefahrenpotenzials bestimmt werden. Details dazu sind in Abschnitt 3.3.3 dargelegt.

3.3.3 Speicher- oder Rückhaltekapazität für Betriebsstörungen

Durch Betriebsstörungen, Leckagen bei technischen Einrichtungen, unbeabsichtigter Verunreinigung von Kühlwasser oder durch andere Störungen in den Produktionsanlagen oder in Lageranlagen kann es entweder zur erhöhten Einleitung von Schadstoffen über die AWBA in das betroffene Gewässer oder zu Störungen der AWBA kommen. Das Risiko für das Auftreten solcher Ereignisse kann zentrale oder dezentrale Auffangeinrichtungen (oder Puffer) erforderlich machen. Für den Betrieb eines Absperr- oder Puffersystems ist die rechtzeitige Feststellung einer Betriebsstörung entscheidend. Diese Feststellung kann sowohl auf analytischem oder auf organisatorischem Wege sichergestellt werden. [cww/tm/132].

Für diesen Zweck sind verschiedene Puffereinrichtungen im Einsatz. Ihre Kapazität muss für die Speicherung von Abwasser, möglicherweise einschließlich des während einer Produktionsstörung anfallenden Regenwassers ausreichend sein. Sie können mit Tanks für den Mengenausgleich kombiniert werden.

Eine Variante eines Puffersystems (siehe Abbildung 3.1) besteht aus zwei Puffertanks, denen der Abwasserstrom wechselweise zugeführt wird (Pufferbehälter für das gesamte Abwasser). Während der eine Behälter gefüllt wird, wird der Inhalt des anderen überprüft und anschließend in Abhängigkeit von den Überprüfungsergebnissen über die Einleitungsstelle eingeleitet oder als Abfall entsorgt. Die Speicherkapazität jedes Behälters muss für die Aufnahme der gesamten Abwassermenge ausreichend sein, die während der Analyse und der Behandlung/Entsorgung des Inhalts eines Tanks anfällt. Bei komplexen und großen Chemiestandorten mit großen Abwassermengen ist dies oft eine Möglichkeit für ausgewählte Abwasserströme, da ansonsten gewaltige Tankvolumina erforderlich sind. Je größer der Tank desto länger ist die Zeit für die Behandlung/Entsorgung, was eine nicht lösbare Situation bedingen kann.

Eine andere technische Variante ist der in Reihe geschaltete Pufferbehälter, der entweder diskontinuierlich (siehe Abbildung 3.2) oder kontinuierlich (siehe Abbildung 3.3) gefüllt wird. Der diskontinuierlich betriebene Pufferbehälter wird abgehängt, wenn er nicht gebraucht wird, d. h. wenn durch das Überwachungs- und Alarmsystem keine Betriebsstörung gemeldet wird. Bei Normalbetrieb wird das Puffersystem hinsichtlich des Abwassers umfahren und nur, wenn das Kontrollsystem einen ungewöhnlichen Vorgang meldet, wird der Puffertank gefüllt. Die erforderliche Speicherkapazität ergibt sich aus der Abwassermenge, die im Laufe einer Störung anfällt. Diese technische Einrichtung wird bei einzelnen Produktionsanlagen zur Erfassung ausgewählter Abwasserströme sowie für die gesamte Abwassermenge eingesetzt. Das erforderliche Volumen ist normalerweise viel geringer im Vergleich zu den vorerwähnten wechselweise befüllten Pufferbehältern.

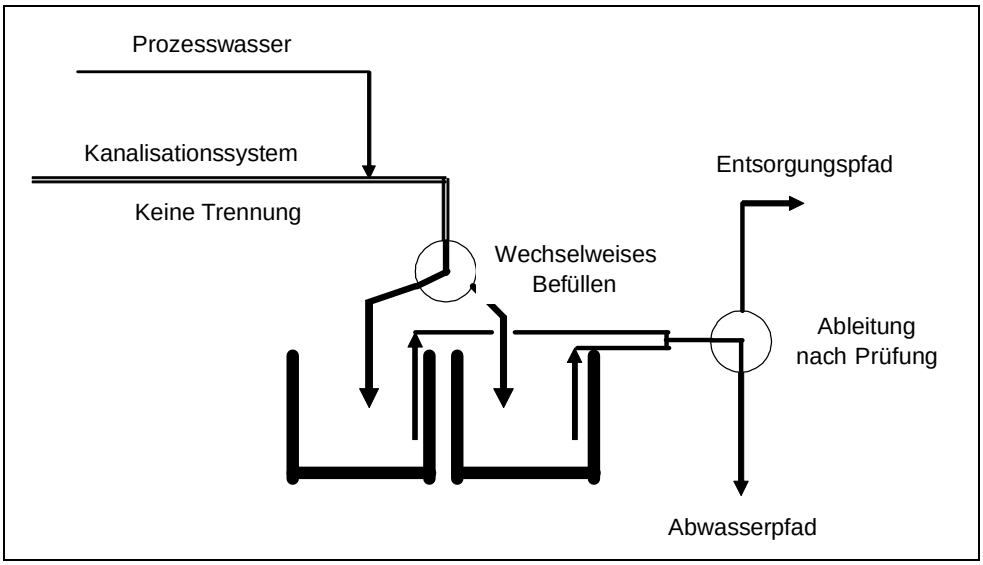

Abbildung 3.1: Wechselweise befüllte Pufferbehälter zur Aufnahme des gesamten Abwassers

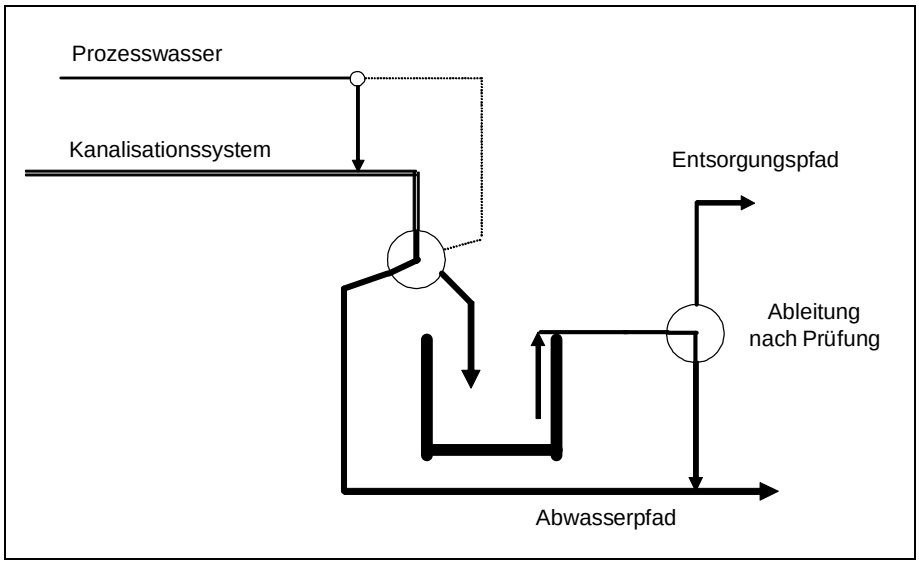

Abbildung 3.2: In Reihe geschalteter Pufferbehälter, der diskontinuierlich befüllt wird

Der kontinuierlich befüllte, in Reihe geschaltete Pufferbehälter kann auch als Tank zum Konzentrations- und Mengenausgleich eingesetzt werden. Ein Kontroll- und Alarmsystem muss sicherstellen, dass der Ablauf der AWBA im Falle eines ungewöhnlichen Ereignisses sofort geschlossen wird. Die Speicherkapazität des Tanks muss für die Aufnahme des gesamten zulaufenden Abwassers bis zur Behebung der Störung ausreichend sein, weshalb dieses System nur für Abwasserteilströme zu empfehlen wäre. Vor dem Weiterbetrieb mit dem üblichen Abwasser muss der Tankinhalt behandelt/entsorgt werden.

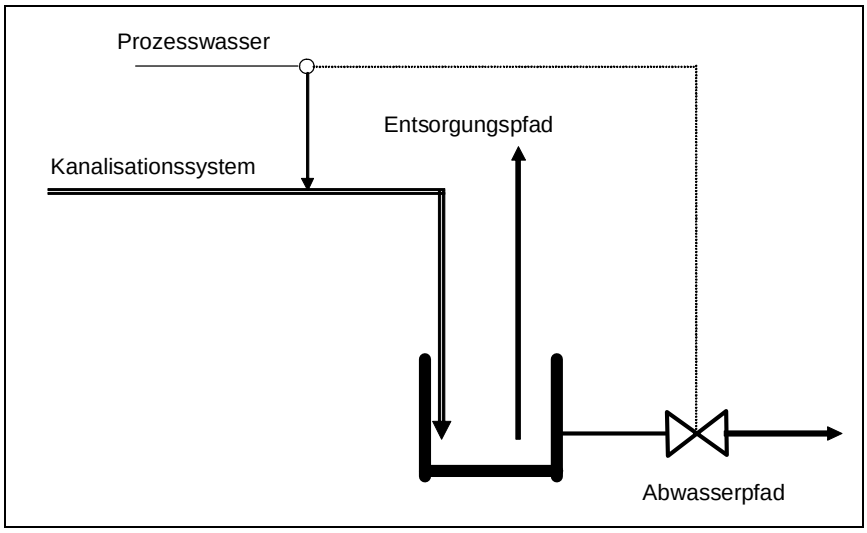

Abbildung 3.3: In Reihe geschalteter Pufferbehälter, der kontinuierlich befüllt wird

Ein weiteres System (siehe Abbildung 3.4) ist für das Auffangen und die Pufferung von Leckageverlusten bei getrennter Erfassung der Leckagen in einem separaten Kanal geeignet. Ein solcher Kanal wird als Drainagesystem für potenziell verschmutzte Außenbereiche, z. B. Produktionsanlagen oder Tankläger eingesetzt. Die Speicherkapazität des Tanks deckt den größtmöglichen Leckageverlust und die zu erwartende Regenwassermenge ab. Dieses Puffersystem ist bei Anlagen mit getrennten Kanälen für Prozesswasser und Drainagewasser aus gefährdeten Bereichen einsetzbar. Vorkommnisse, die den Prozessabwasserstrom beeinflussen können, sind damit beherrschbar. Der Vorteil dieses Systems liegt in der Möglichkeit, die Leckageverluste in konzentrierter Form mit der Option des Recyclings zu erfassen.

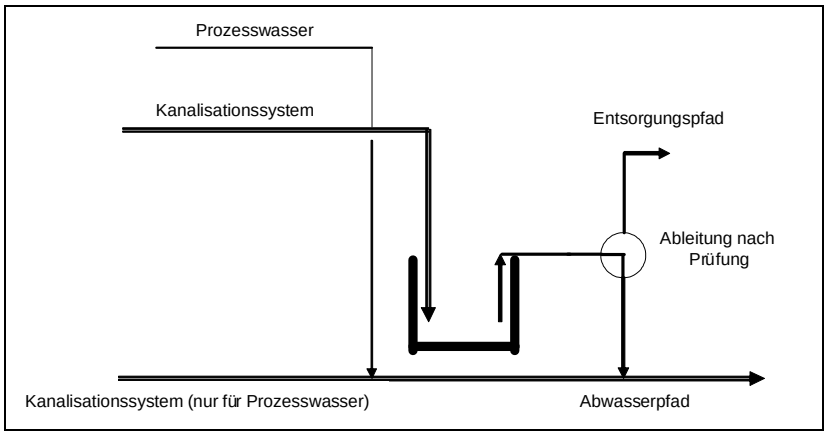

Abbildung 3.4: Puffersystem für Leckagen

3.3.4 End-of-Pipe Techniken

Um die Beschreibung der Behandlungstechniken in eine logische Reihenfolge zu bringen, wird, wie in Abschnitt 1.3.2.1 gezeigt und in Abbildung 3.5 dargestellt, die Beziehung zwischen Schadstoff und der jeweiligen typischen Behandlungstechnologie herangezogen.

Der erste – und häufig auch letzte – Behandlungsschritt für Abwasser und Regenwasser besteht in der Abtrennung von Feststoffen und nicht (mit Wasser) mischbarer Flüssigkeiten aus dem Hauptabwasserstrom. Trenn- oder Klärtechniken sind:

- Schwerkrafttrennung [Sandabtrennung (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.1), Sedimentation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.2), Öl-Wasser-Trennung (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.6)],
- Entspannungsflotation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.3),
- Filtration [Filtration (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.4), Membranfiltration (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.5)].

Sie werden hauptsächlich, entweder als erste oder abschließende Reinigungsstufe, in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt. Als erste Stufe eingesetzt, schützen sie zum Beispiel andere Behandlungsanlagen vor Schäden, Verstopfungen oder Fouling durch Feststoffe. Als letzte Stufe dienen sie der Entfernung von bei den vorangehenden Behandlungsverfahren gebildeten Feststoffen oder der Entfernung von Öl vor der weiteren biologischen Behandlung. Sie werden häufig nachfolgend auf Behandlungstechniken eingesetzt, mit denen löslichen Schadstoffe behandelt und dabei in Feststoffe umwandelt werden. Beispiele sind später in diesem Kapitel aufgeführt.

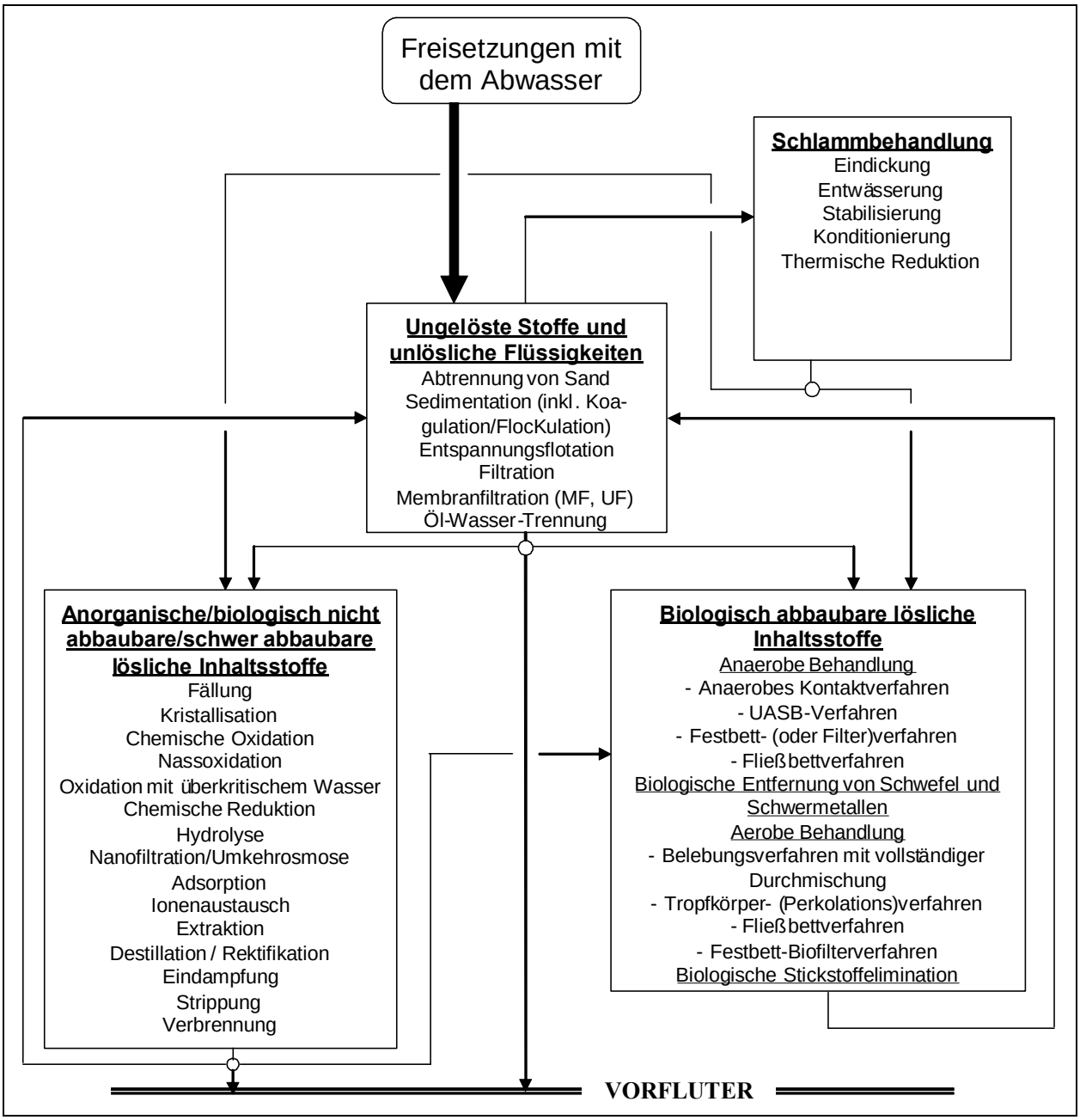

Abbildung 3.5: Auswahl von Abwasserbehandlungstechniken in Abhängigkeit von der Art der Verunreinigungen

Feststofffreies Abwasser kann entweder in einen biologisch abbaubaren und einen biologisch nicht abbaubaren Teil getrennt oder die für die mangelnde biologische Abbaubarkeit verantwortlichen Verunreinigungen können vor der weiteren Behandlung abgetrennt werden. Die Behandlungstechniken für den biologisch nicht abbaubaren Teil des Abwassers beruhen auf physikalischen und/oder chemischen Verfahren, wie:

- Fällung / Sedimentation / Filtration (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1),
- Kristallisation (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.2),
- Chemische Reaktionen [Chemische Oxidation (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.3), Nassoxidation (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.4, überkritische Oxidation von Abwasser (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.5), chemische Reduktion (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.6) und Hydrolyse (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.7)],
- Membran'filtration' (Nanofiltration und Umkehrosmose) (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.8),
- Adsorption (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.9),
- Ionenaustausch (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.10),
- Extraktion (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.11),
- Destillation / Rektifikation (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.12),
- Eindampfung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.13),
- Strippung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.14),
- Verbrennung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.15).

Nach einer geeigneten Behandlung kann der Abwasserstrom entweder in einen Vorfluter, eine nachfolgende biologische AWBA oder eine kommunale AWBA eingeleitet werden.

Das biologisch abbaubare Abwasser oder der nach Beseitigung der Ursache der mangelnden biologischen Abbaubarkeit verbleibende Teil des Abwassers wird für gewöhnlich zentralen oder dezentralen, auf biologischen Verfahren beruhenden, Behandlungstechniken unterzogen, wie:

- anaerober Abbau [Anaerobes Kontaktverfahren (ACP), UASB-Verfahren, Festbettverfahren, Fliessbettverfahren (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.1) und biologische Eliminatiom von Schwefelverbindungen und Schwermetallen (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.2)],
- aerober Abbau, [Belebungsverfahren mit vollständiger Durchmischung, Biomembranverfahren, Tropfkörperverfahren, Fliessbettverfahren, Biofilter-Festbettverfahren (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.3)],
- Nitrifikation / Denitrifikation (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.4),
- Zentrale biologische Abwasserbehandlung (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.5).

Das biologisch abgebaute Abwasser verlässt die biologische Behandlungsanlage und wird einer Nachklärung zugeleitet.

Viele Abwasserbehandlungstechniken erfordern Behandlungshilfen oder setzen diese optional ein. In den meisten Fällen handelt es sich dabei um Chemikalien. Auch die notwendige Regeneration von Behandlungshilfen / Einrichtungen kann zur Freisetzung von Chemikalien führen. Diese Hilfsstoffe oder Verfahrensstufen können, im Allgemeinen abhängig von den örtlichen Umständen, Verunreinigungen verursachen, die beim Einsatz einer Behandlungstechnik berücksichtigt werden muss. In bestimmten Situationen kann deshalb eine Bewertung der Behandlungshilfen, der aus Regenerationsanlagen freigesetzten Chemikalien sowie deren Verbleib während des gesamten Verfahrens notwendig sein.

Nahezu alle Abwasserbehandlungstechniken haben eines gemeinsam: die Entstehung von Feststoffen, wie Überschussbelebtschlamm oder filtrierte oder abgesetzte Rückstände aus Filtrations- oder Sedimentationsverfahren. Damit ist die Abtrennung des Schadstoffs vom wässrigen Medium möglich. Falls der Schlamm nicht zurückgeführt wird, muss er durch externe Behandlung und Ablagerung entsorgt oder am Standort behandelt werden. Schlammbehandlungstechniken sind z. B.:

- Eindickung (vgl. Abschnitt 3.4.1),
- Entwässerung (vgl. Abschnitt 3.4.1),
- Stabilisierung (vgl. Abschnitt 3.4.2),
- Konditionierung (vgl. Abschnitt 3.4.2),
- Thermische Schlammbehandlung (vgl. Abschnitt 3.4.3).

3.3.4.1 Unlösliche Verunreinigungen / Mechanische Abtrennung

Unlösliche Inhaltsstoffe im Abwasser der chemischen Industrie können aus inerten Stoffen bestehen, wie Staub aus der Regenwasserkanalisation oder Sand (Ballast in Rohstoffen, wie Kalk). Sie können aber auch aus gefährlichen Stoffen bestehen, wie Schwermetallen und ihren Verbindungen. Diese fallen bei den Fällungsverfahren vorangehender Behandlungsverfahren oder bei Produktionsprozessen an, bei denen Katalysatoren eingesetzt werden. Sogar Dioxine können an feste Inhaltsstoffe adsorbiert werden (z. B. der Katalysator aus der Herstellung von Vinylchlorid mittels Oxychlorierung). Auf der anderen Seite muss es sich bei unlöslichen Verunreinigungen nicht unbedingt um Feststoffe handeln. Mit Wasser nicht mischbare Flüssigkeiten, wie Öle, Stoffe mit öliger Konsistenz, Fette und Kolloide gehören ebenfalls zu dieser Kategorie. Abwasser, das unlösliche Verunreinigungen enthält, muss für gewöhnlich durch die oben beschriebenen Trennverfahren davon befreit werden.

3.3.4.1.1 Abtrennung von Feststoffen in Sandfängen

Beschreibung

Sandabscheidung besteht in der Entfernung von Sand aus dem Regenwasser. Zu diesem Zweck werden Sandfänge eingesetzt, da sich sonst der Sand an unerwünschten Stellen ablagern würde und damit die Behandlungsverfahren stören und zu einem raschen Verschleiß der Pumpen führen würde [cww/tm/132].

Sandfänge sind Bestandteil der AWBA und befinden sich für gewöhnlich unmittelbar hinter der Rechenanlage als Schutz vor groben und fasrigen Materialien. Sie sind so ausgelegt, dass sie die erforderliche Fliessgeschwindigkeit (etwa 0,3 m/s) einhalten können. Dadurch wird nur Sand abgetrennt, während die leichteren Feststoffe im Abwasserstrom verbleiben.

Es gibt drei unterschiedliche Arten von Sandfangtypen [cww/tm/132]:

- der kanalförmige, horizontal durchflossene Langsandfang, bei dem die erforderliche Fliessgeschwindigkeit durch Zusammenwirken mit einem Venturi-Gerinne aufrecht erhalten wird, geeignet für stark schwankende Abwasserströme (Abbildung 3.6) [cww/tm/132];

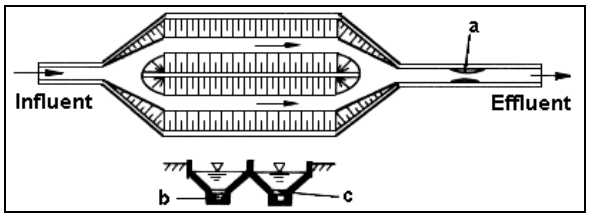

Abbildung 3.6: Langsandfang
Influent = Zulauf; Effluent = Ablauf

- der Rundsandfang, bei dem das Wasser tangential zugeleitet wird, was dazu führt, dass der Wasserkörper in Rotation versetzt und der Sand in die Mitte gespült wird, um dort mit einem Druckluftheber entfernt zu werden. Für stark schwankende Zuflussmengen ist dieser Sandfangtyp weniger geeignet (Abbildung 3.7) [cww/tm/132];

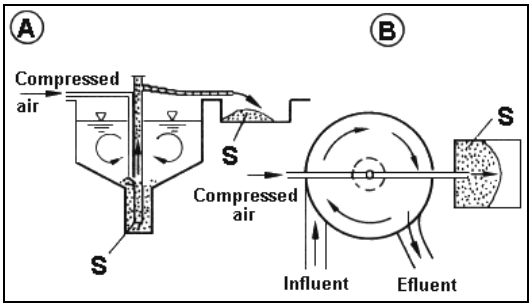

Abbildung 3.7: Rundsandfang
Compressed air = Druckluft; Effluent = Ablauf; Influent = Zulauf

- der belüftete Sandfang, bei dem die Rotation des Wasserkörpers durch Einblasen von Luft erreicht wird, so dass die erforderliche Fliessgeschwindigkeit am Boden des Sandfanges erreicht wird. Bei diesem Typ gibt es keine Probleme bei schwankenden Zuflussmengen (Abbildung 3.8) [cww/tm/132].

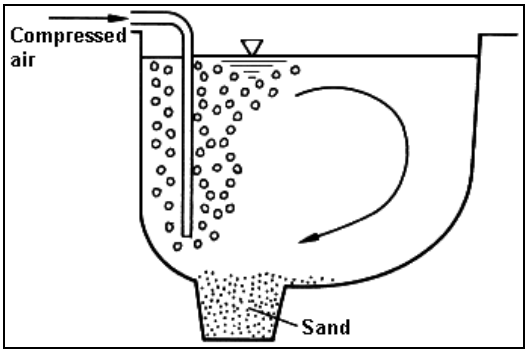

Abbildung 3.8: Belüfteter Sandfang
Compressed air = Druckluft; Sand = Sand

Für den abgetrennten Sand sind bis zu seinem Austrag Speicherräume erforderlich.

Anwendung

Sandfänge werden eingesetzt, wenn in der AWBA auch Regenwasser mit zu behandeln ist, das normalerweise viel Sand mit sich führt [cww/tm/132].

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Fliessgeschwindigkeit	Fliessgeschwindigkeit von etwa 0,3 m/s erforderlich, um sicherzustellen, dass nur Sand abgetrennt wird
Schwankungen der Zuflussmenge	Beschränkungen der Zuflussmenge, abhängig vom Sandfangtyp

Vorteile und Nachteile

Nicht relevant – notwendige Ausrüstung.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Sandfänge werden nicht aus Umweltschutzgründen, sondern zum Schutz der nachgeschalteten Anlagen eingebaut.

Medienübergreifende Wirkungen

Das abgetrennte Sandfanggut muss entsorgt oder, abhängig von den Verunreinigungen, anderweitig verwendet werden.

Verbrauchsmaterial ist die elektrische Energie für die Versorgung der Abwasserpumpen und dem Einblasen von Luft.

Abhängig von der behandelten Abwasserart trägt der Sandfang als Teil der Abwasserbehandlungsanlage zu den Emissionen von Lärm und Gerüchen der Gesamtanlage bei. Eine Kapselung der Anlage kann erforderlich sein.

Überwachung

Die erforderliche Fliessgeschwindigkeit des Abwassers von 0,3 m/s muss überwacht werden.

3.3.4.1.2 Sedimentation von Feststoffen

Beschreibung

Bei der Sedimentation – oder Klärung – werden suspendierte Teilchen und Leichtstoffe durch Absetzen mit Hilfe der Schwerkraft entfernt. Die abgesetzten Feststoffe werden als Schlamm am Boden abgezogen, während die Leichtstoffe von der Wasseroberfläche abgeschöpft werden. Wenn die Teilchen nicht durch einfache Schwerkraft entfernt werden können, z. B. weil sie zu klein sind, ihre Dichte zu nahe an der des Wassers liegt oder sie Kolloide bilden, werden spezielle Chemikalien zugefügt, um ein Absetzen der Feststoffe zu bewirken, z. B.:

- Aluminiumsulfate (Alaun),
- Eisensulfat,
- Eisenchlorid,
- Kalk,
- Polyaluminiumchlorid,
- Polyaluminiumsulfat,
- kationische organische Polymere.

Diese Chemikalien bewirken die Destabilisierung kolloidaler und kleiner suspendierter Teilchen (z. B. Ton, Kieselerde, Eisen, Schwermetalle, Farbstoffe, gelöste organische Feststoffe, Öl in Abwasser) und von Emulsionen mit eingeschlossenen Feststoffen (Koagulation) und/oder die Agglomeration dieser Teilchen zu Flocken, die groß genug sind, um sich abzusetzen (Flockulation). Bei der Flockulation werden auch anionische und nicht-ionische Polymere eingesetzt.

Der Einfluss der Koagulation wird beispielhaft in Tabelle 3.2 [cww/tm/27] gezeigt. Die Eliminationsraten dieser Tabelle sollten jedoch nicht mit erreichbaren Wirkungsgraden von Behandlungstechniken verwechselt werden.

Stoff	Elimination [%]
Anorganisches Quecksilber	70
Cadmium und Verbindungen	98
DDT [1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(p-chlor-phenyl)ethan]	75-80
HCB (Hexachlorbenzol)	59
Aldrin	100
Dieldrin	50
Endrin	43
PCBs (Polychlorierte Biphenyle)	30–40
Tributylzinnverbindungen	>90
Trichlorethen	36
Perchlorethen	30

Tabelle 3.2: Elimination von Schadstoffen im Abwasser mittels Koagulation

Für gewöhnlich werden folgende Sedimentatoren (oder Absetzbecken) betrieben:

- Sedimentationsbecken oder Flachbecken, entweder rechteckig oder rund, beide ausgerüstet mit einem geeigneten Räumer und in einer die notwendige Verweilzeit von etwa 1½ bis 2½ Stunden gewährleisteten Größe (vgl. Abbildung 3.9 als Beispiel eines Rundbeckens [cww/tm/4]);

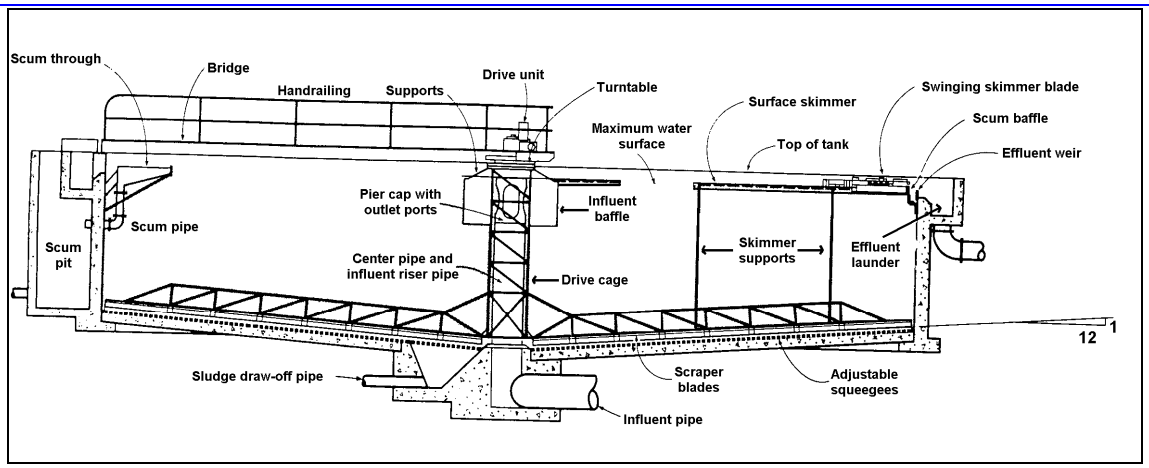

Abbildung 3.9: Sedimentations- oder Absetzbecken
Adjustable squeegees = Verstellbare Abstreifer; Bridge = Brücke; Center pipe and influent riser pipe = Mittelrohr und Zulaufsteigrohr; Drive cage = Antriebsgehäuse; Drive unit = Antrieb; Effluent launder = Ablaufgerinne; Effluent weir = Abwasserüberlauf; Handrailing = Geländer; Influent baffle = Zulaufleitblech; Influent pipe = Zulaufrohr; Maximum water surface = Maximaler Wasserstand; Pier cap with outlet ports = Pfeilerabdeckung mit Auslassöffnungen; Scraper blades = Schildräumer; Scum baffle = Tauchwand für Schwimmschlamm; Scum through = Schwimmschlammrinne; Scum pit = Schwimmschlammgrube; Scum pipe = Schwimmschlammrohr; Skimmer supports = Skimmerstützen; Sludge draw-of pipe = Schlammabzugsrohr; Supports = Stützen; Surface skimmer = Schwimmstofffänger (Skimmer); Swinging skimmer blade = Schwenkbares Skimmerschild; Top of tank = Oberteil des Beckens; Turntable = Drehscheibe

- vertikal durchflossenes Trichterbecken, für gewöhnlich nicht mit einer mechanischen Schlammabzugsvorrichtung ausgerüstet (vgl. Abbildung 3.10 [cww/tm/132]);

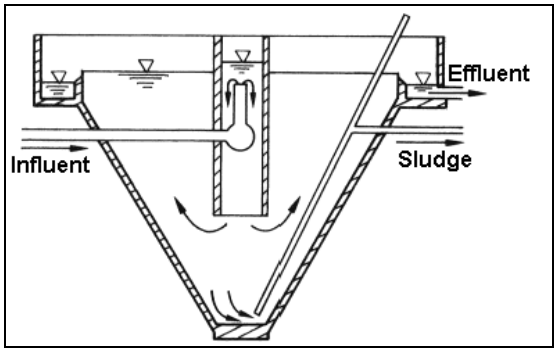

Abbildung 3.10: Trichterbecken, vertikal durchströmt
Influent = Zulauf; Effluent = Ablauf; Sludge = Schlamm

- Lamellen- oder Schrägklärer, bei denen zur Vergrößerung der Sedimentationsoberfläche Platten eingebaut werden (vgl. Abbildung 3.11 [cww/tm/91]).

Die Vorrichtungen für Koagulation und/oder Flockulation sind als Bestandteil in das Becken integriert. Die bei der Koagulation notwendige schnelle Vermischung wird sichergestellt durch:

- simultane Zugabe der Flockulationshilfsmittel über mehrere Einspritzpunkte,
- wenn anwendbar, Bevorzugung von Systemen mit Pfropfenströmung
- Schnellmischer oder Mischen an der Stelle, wo das Flockulationshilfsmittel zugefügt wird, z. B. vor dem Schnellmischer, dem statischen Mischer oder den Düsen.

Bei der Flockulation kommt ein Mischbecken hinzu. Um eine hydraulische Vermischung der durch das Becken strömenden Flüssigkeit zu erreichen, werden Vertikalschnellmischer oder langsam laufende Mischer eingesetzt. Eine teilweise Rückführung des Flockulats in den Flockulationsreaktor kann zu einer besseren Struktur des Flockulats und einer optimalen Ausnutzung des Flockulationshilfsmittels führen.

Zur Entfernung störender Stoffe werden für gewöhnlich vorgeschaltet Ölabtrennung oder Emulsionsspaltung, usw. eingebaut. Damit wird ein optimaler Absetzvorgang sichergestellt.

Die Sedimentationsvorrichtungen müssen so ausgerüstet sein, dass kein Abwasser in den Boden eindringen kann, zumindest wenn das Becken grundwassergefährdende Stoffe enthalten kann. Die Lagerbehälter für das Koagulationshilfsmittel / Flockulationshilfsmittel und den sedimentierten Schlamm müssen den Schlammeigenschaften entsprechend ausgerüstet sein.

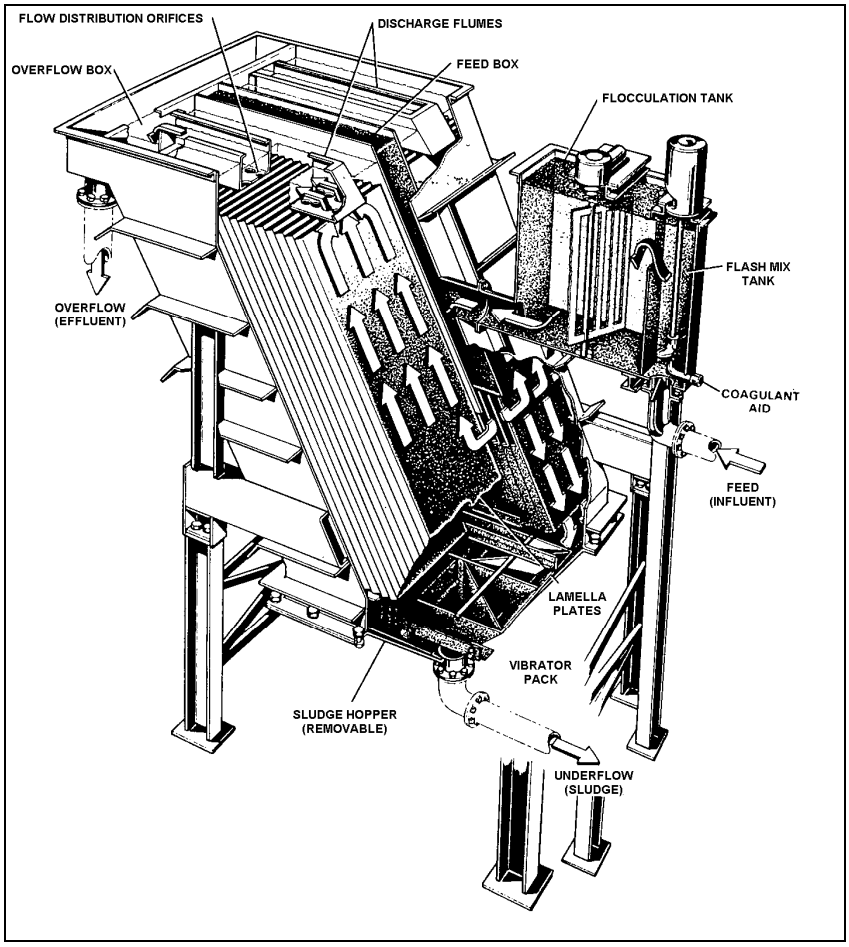

Abbildung 3.11: Lamellen- oder Schrägklärer
Coagulant aid = Koagulationshilfsmittel; Discharge flumes = Austrittskanal; Feed box = Speisebehälter; Feed (Influent) = Zulauf; Flash mix tank = Schnellmischbehälter; Flocculation tank = Flockungsbehälter; Flow distribution orifices = Ablaufverteileröffnungen; Lamella plates = Lamellenplatten; Overflow box = Überlaufbehälter; Overflow (effluent) = Ablauf (Abwasser); Sludge hopper (removable) = Schlammtrichter (abnehmbar); Underflow (sludge) = Schlammabzug; Vibrator pack = Rüttler

Anwendung

Die Sedimentation ist eine für viele Zwecke und für gewöhnlich nicht allein eingesetzte Trenntechnik. Die wichtigsten Beispiele sind:

- gesammeltes Regenwasser in einem Sedimentationsbecken von festen Inhaltsstoffen, wie Sand oder Staub, zu befreien,
- Prozessabwasser von inerten Inhaltsstoffen wie Sand oder vergleichbaren Teilchen zu befreien,
- Prozessabwasser von Stoffen aus der Reaktion befreien, wie z. B. emulgierten Metallverbindungen, Polymeren und ihren Monomeren zu befreien, unterstützt durch Zugabe geeigneter Chemikalien,
- Abtrennung von Schwermetallen oder anderen gelösten Verbindungen nach vorangegangener Fällung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1), häufig chemisch unterstützt, am Ende gefolgt von Filtrationsverfahren (vgl. Abschnitte 3.3.4.1.4 und 3.3.4.1.5),
- Entfernung von Belebtschlamm in einem Vorklärbecken oder Nachklärbecken einer biologischen AWBA (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.5), häufig chemisch unterstützt.

Anwendungsgrenzen and Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Teilchengröße	Teilchen müssen groß genug sein, damit sie sich absetzen, ansonsten müssen Koagulations- und/oder Flockulationshilfsmittel eingesetzt werden
Anwesenheit flüchtiger Stoffe	Flüchtige Stoffe müssen wegen der langen Verweilzeit im Becken (und auch dem Mischvorgang bei Einsatz von Koagulation und/oder Flockulation) und potentiellen VOC-Freisetzungen vermieden werden
Feststoffkonzentration	Keine Grenzen, vorausgesetzt, die wässrige Phase ist noch abtrennbar
pH (im Falle von Koagulation/ Flockulation)	Kontrolle des pH-Bereiches während des Verfahrens notwendig, ansonsten schlechte Reinigungsergebnisse
Emulsionen	stabile Emulsionen können nicht durch Koagulation / Flockulation getrennt oder gebrochen werden, vorangeschaltete Emulsionsspaltung erforderlich

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Einfachheit der Anlage, deshalb keine Neigung zu Fehlfunktion. • kann durch Zugabe von Koagulations- und/oder Flockulationschemikalien verbessert werden.	• Ungeeignet für Feinstoffe und stabile Emulsionen, selbst mit Koagulations- und Flockulationshilfsmitteln. • Die Flocke kann andere Verunreinigungen einschließen, welche Probleme bei der Entsorgung des Schlamms bereiten können.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Wird die Sedimentation vor nachfolgenden Behandlungsschritten eingesetzt, dient sie dem Zweck, nachgeschaltete Anlagenteile zu schützen. Der Eliminationsgrad muss deshalb so hoch sein, dass dies erreicht wird. Wird sie als Endbehandlung eingesetzt, hängt ihr Wirkungsgrad von den Eigenschaften der zu entfernenden Teilchen ab.

Folgende erreichbare Emissionswerte wurden berichtet:

Parameter	Eliminationsgrad [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
TSS	60–90		
		<10 [1]	nach Nachklärung einer zentralen AWBA
Absetzbare Stoffe	90–95		
Schwermetalle			in dispergierter Form, vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1

[1] [cww/tm/67c]

TSS können auch dispergierte organische Stoffe enthalten. Damit vermindert die Sedimentation auch den TOC/CSB, soweit dieser feststoffgebunden vorliegt. Der Eliminationsgrad hängt jedoch davon ab, wie groß der Anteil dieses TOC am gesamten TOC ist.

Medienübergreifende Wirkungen

Sedimentierter Schlamm und Schwimmschlamm muss, falls nicht für eine Rückführung oder anderweitigen Einsatz geeignet, als Abfall entsorgt werden. Dieser Abfall kann, abhängig von der Abwasseranfallstelle, gefährliche Verbindungen enthalten, die eine entsprechende Behandlung erforderlich machen. Diese Verbindungen können Karbonate, Fluoride, Sulfide oder Hydroxide (oder Oxide) von Schwermetallen, öliger Schlamm, etc., und, unter bestimmten Umständen, sogar Dioxine sein.

Lärmquellen sind die Pumpen und die Schlammräumvorrichtungen. Die Pumpen können gekapselt werden.

Enthält das Abwasser geruchsintensive Stoffe, kann es notwendig sein das Sedimentationsbecken – oder wenigstens die Koagulations- oder Flockulationsanlage – abzudecken und das anfallende Abgas, falls notwendig, einem Behandlungssystem zuzuführen. Die notwendige Vorrichtungen – Leitungen und Entlüftungen – müssen

mit einem zur Vermeidung von Explosionsrisiken geeigneten Sicherheitssystem ausgerüstet werden, z. B. mit einem unter Druck stehenden System zur Überlagerung mit Stickstoff.

Verbrauchsmaterialien können sein:

Verbrauchsmaterial	Menge
Chemikalien (Flockulationshilfsmittel / Koagulationshilfsmittel) [a]	53–93 [kg/t Öl, Feststoff] [1]
	0,5–100 [g/m^3 Abwasser] [2]
Elektrische Energie [kW] [b]	0,5–1,5
Stickstoff für inerte Atmosphäre	

[a] organisches Polymer
[b] für Beckendurchmesser von 25–35 m
[1] [cww/tm/96]
[2] [cww/tm/128]

Überwachung

Das abfließende Abwasser muss regelmäßig auf feste Inhaltsstoffe überwacht werden, d. h. suspendierte Feststoffe, absetzbare Stoffe oder Trübung. Wenn zur Verbesserung des Absetzvorgangs Chemikalien (z. B. Koagulationshilfsmittel, Flockulationshilfsmittel) eingesetzt werden, muss als wichtigster Betriebsparameter der pH-Wert kontrolliert werden.

Ökonomische Daten

	Investitionskosten [Millionen]	Betriebskosten
Sedimentationsbecken	1.2 EUR [a]	
	4.8 BEF [b 1]	
Lamellen- oder Schrägklärer [1]	4 BEF [c]	20–100 BEF pro m^3

[a] pro 1000 m^3 Beckenvolumen
[b] Auslegung auf 100 m^3/h
[c] Auslegung auf 25 m^3/h
[1] [cmm/tm/128]

3.3.4.1.3 Entspannungsflotation

Beschreibung

Bei der Flotation werden feste oder flüssige Teilchen oder dispergierte Stoffe von der Wasserphase abgetrennt, indem sie sich an Luftbläschen anlagern. Die aufschwimmenden Teilchen sammeln sich an der Wasseroberfläche und werden mit Skimmern abgeschöpft [cww/tm/4].

Zur Unterstützung der Flotationsverfahren werden gewöhnlich Flockungshilfsmittel, wie Aluminium- und Eisensalze, aktivierte Kieselerde und verschiedene organische Polymere eingesetzt. Neben Koagulation und Flockulation haben sie die Aufgabe, eine Oberfläche oder eine Struktur zu schaffen, die in der Lage ist, die Luftbläschen zu adsorbieren oder einzuschließen.

Es gibt drei Flotationsmethoden, die sich durch die Art der Luftzufuhr unterscheiden:

- Vakuumflotation, bei der die Luft bei Atmosphärendruck gelöst wird, gefolgt von einem Druckabfall, um Bläschen zu erzeugen,
- Ansaugentspannungsflotation (IAF), bei der feine Bläschen durch ein Ansauggerät, wie ein Venturi oder Drosselblende in das Abwasser gesaugt werden,
- Druckentspannungsflotation (DAF), wobei zunächst Druckluft (0,4–0,8 MPa, oder 1,0–1,2 MPa für Aluminiumverbindungen) im Abwasser (oder in einem Teil des Gesamtabwassers) gelöst und danach in Form kleiner Bläschen freigesetzt wird.

Eine typische DAF-Anlage ist in Abbildung 3.12 dargestellt [cww/tm/4].

Abhängig von den Abwasserinhaltsstoffen kann es notwendig sein, das Flotationsbecken abzudecken und die Abluft einer Abgasbehandlungsanlage zuzuführen. Für die Lagerung der Flockulationshilfsmittel / Koagulationshilfsmittel und der abgeskimmten Stoffe sind entsprechende Einrichtungen nötig.

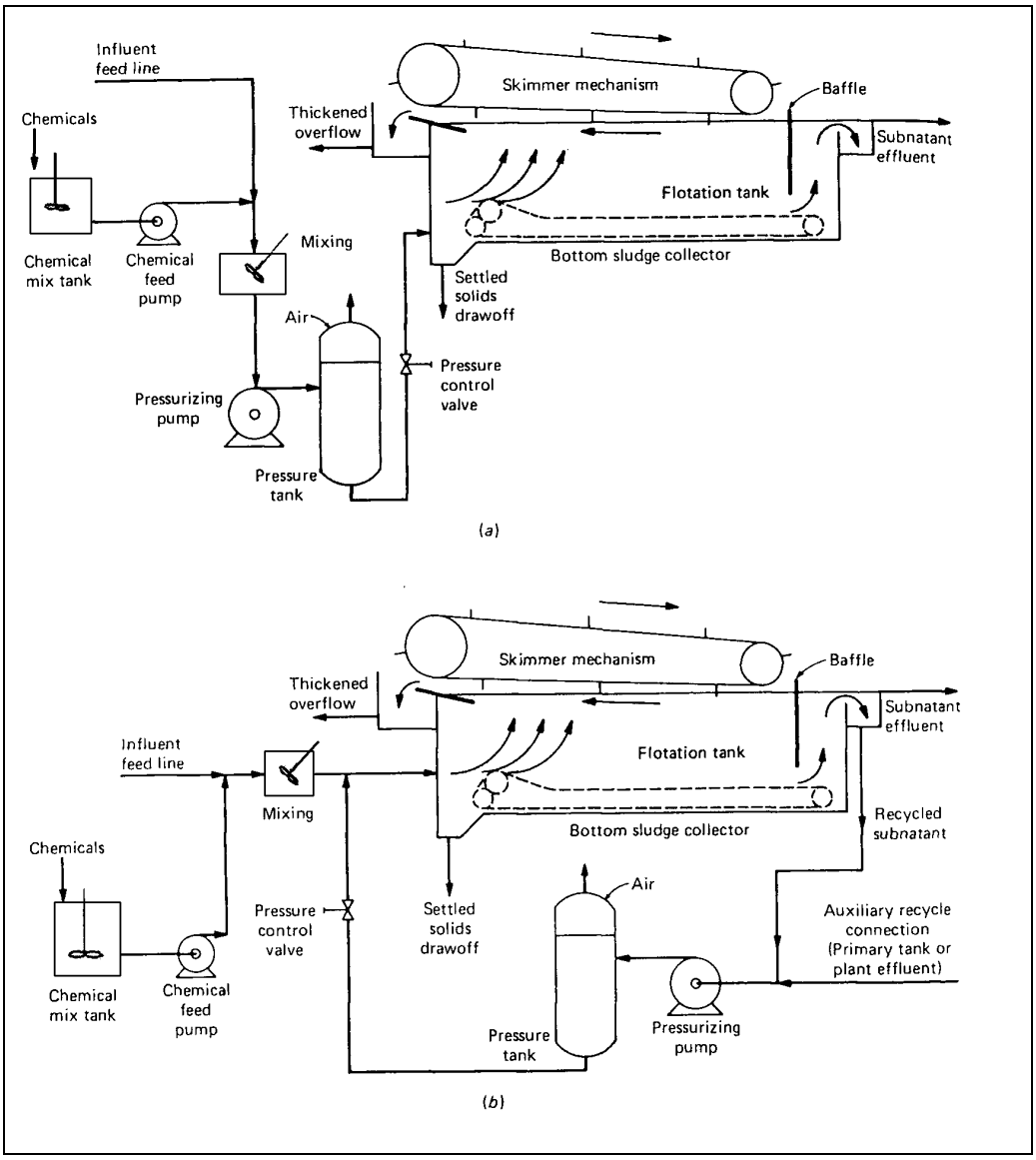

Abbildung 3.12: DAF-System:
a) mit Rückführung, b) ohne Rückführung
a) Air = Luft; Baffle = Trennwand; Bottom sludge collector = Bodenschlammräumer; Chemicals = Chemikalien; Chemical mix tank = Chemikalienmischbehälter; Chemical feed pump = Chemikaliendosierpumpe; Flotation tank = Flotationsbecken; Influent feed line = Leitung für die Einspeisung des Zulaufs; Mixing = Mischer; Pressure control valve = Druckregelventil; Pressurizing pump = Kompressor; Pressure tank = Druckkessel; Settled solids drawoff = Abzug der abgesetzten Stoffe; Skimmer mechanism = Skimmervorrichtung; Subnatant effluent = Klarablauf; Thickened overflow = Überlauf des Flotats
b) Recycled subnatant = Rückführung des Ablaufs; Auxiliary recycle connection = Rücklaufleitung für den Bedarfsfall; (Primary tank or plant effluent) = (Primärtank oder Werksabwasser)

Anwendung

Flotation wird eingesetzt, falls Sedimentation nicht geeignet ist, z. B. wenn:

- die dispergierten Stoffe schlechte Absetzeigenschaften haben (bei ungünstigem Schlammindex (SVI), gibt es jedoch keinen Vorteil gegenüber der Sedimentation);
- der Dichteunterschied zwischen den suspendierten Stoffen und dem Abwasser zu gering ist;
- es räumliche Einschränkungen am tatsächlichen Standort gibt;
- Öle und Fette entfernt werden müssen.

Beispiele sind:

- auf die Ölabscheidung folgende Behandlung sowie vor der biologischen AWBA in Raffinerien und petrochemischen Standorten,
- Elimination von Farbstoffen und Pigmenten aus jeweiligen Produktionsabwasserströmen,
- Rückgewinnen von Produkten oder Rohstoffen, z. B. Toluol aus Toluol/Wasser-Emulsionen [cww/tm/132], Silberhalogeniden aus der Herstellung von Photochemikalien, Butylthion oder Polysilan aus Abwasserströmen,
- Elimination von Schwermetallen aus Abwasser,
- Abtrennung von Belebtschlamm bei der biologischen Abwasserbehandlung, entweder nach oder an Stelle der Nachklärung [cww/tm/67b],
- Eindickung von Belebtschlamm aus einer biologischen AWBA.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Anwesende Stoffe	schäumende Detergentien müssen vermieden werden
Öl	Obwohl sehr wirksam bei der Entfernung von freiem Öl aus dem Abwasser, können größere Mengen an freiem Öl nicht verarbeitet werden

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Geringeres Volumen erforderlich und damit geringere Investitionskosten als bei Sedimentation. • Eliminationsraten durch Änderungen der Zuflussmenge unbeeinflusst, damit der Sedimentation überlegen, vgl. Abbildung 3.13 [cww/tm/132] • Rückgewinnung von Stoffen möglich. • Hohe Wirksamkeit der Abtrennung, höhere Trockensubstanzgehalte als bei Sedimentation.	• Verstopfen von Ventilen möglich. • Großes Potential für Freisetzungen von Gerüchen, deshalb für gewöhnlich Abdeckung erforderlich. • Höhere Betriebskosten als Sedimentation.

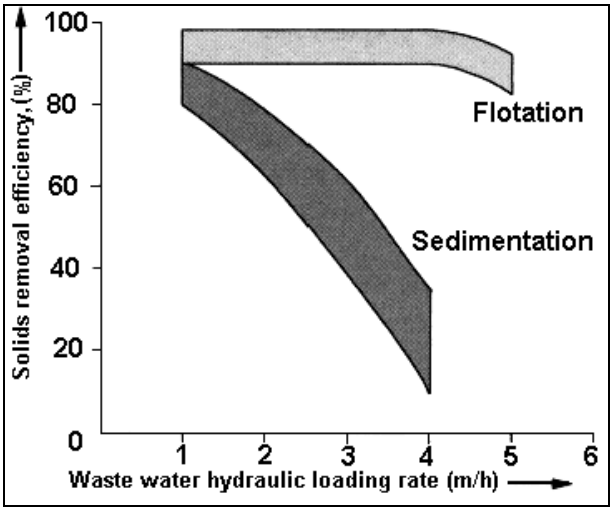

Abbildung 3.13: Vergleich der Trennleistung von DAF und Sedimentation [11]
Flotation = Flotation; Sedimentation = Sedimentation; Solids removal efficiency (%) = Feststoffabscheidegrad (%); Waste water hydraulic loading rate (m/h) = Flächenbeschickung (m/h)

[11] Gehalt unlöslicher Stoffe 90 – 450 mg/l, Zugabe von 20 % unter Druck gesetzten Wassers zur Flotation

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswerte [mg/l]	Bemerkungen
AFS	90–98		vgl. Abbildung 3.13
	85–96 [1]	10–20 [1]	Belebtschlamm nach der Nachklärung, Input 20–250 mg/l
Öl		10–20 ppm [2]	Raffinerie, IAF und DAF-Behandlung
		2–10 [3]	Chemische Produktion, nach mehreren APIs
Metallsulfide	95 [2]		Raffinerie, IAF und DAF-Behandlung

[1] [cww/tm/67b]
[2] [cww/tm/131]
[3] [cww/tm/93]

Soweit sie in Form von Feststoffen oder Tröpfchensuspension vorliegen, werden CSB/TOC eliminiert.

Medienübergreifende Wirkungen

Die abgetrennten Stoffe werden, soweit nicht recyclingfähig, als Abfall entsorgt. Die Menge hängt von den zu entfernenden Stoffen und der Menge der Koagulations- und Flockulationschemikalien ab. Diese können, entsprechend der jeweils eingesetzten Entspannungsflotation sehr unterschiedlich sein.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	DAF-Behandlung von Belebtschlamm [1]	Entspannungsflotation Raffinerieabwasser [2]
Druckluft [a]	0,53–0,55	
Dosierung Flockungsmittel mg/l [b] kg/t [c]	0,6–1,2 2,4–4,7	3,7 53-93
Energie [kWh/1000 m^3]	20,6	

[a] dargestellt als Druckluft im Verhältnis zum Druck beaufschlagten Wasser [m^3/m^3]
[b] Konzentration des Flockungsmittels im Abwasser
[c] Menge des Flockungsmittels im Verhältnis zur Menge suspendierter Feststoffe im Abwasser
[1] [cww/tm/67b]
[2] [cww/tm/96]

Lärmquellen sind Pumpen, Mischer und Kompressoren, die mit ausreichenden Maßnahmen zur Lärmabschirmung ausgerüstet sein müssen.

Falls Freisetzungen geruchsintensiver und anderer flüchtiger Stoffe zu erwarten sind, können diese durch Abdecken der Behälter vermieden werden, oder es wird mit geschlossenem Tank gearbeitet und die Abluft einem Abgasbehandlungssystem zugeleitet.

Überwachung

Um einen verlässlichen Betrieb zu garantieren, muss die Trübung des Abwassers im Hinblick auf Störungen überwacht werden. Jegliches Entstehen von Schaum muss rechtzeitig festgestellt werden. Der Nachweis von CSB/TOC und abf. Stoffen im Abwasser ist obligatorisch.

Ökonomische Daten

Die Kosten einer Flotationsanlage sind, abhängig vom Einsatzzweck, sehr unterschiedlich:

	Durchflussmenge [m^3/h]	Investitionskosten [Millionen]	Jährliche Betriebs-kosten [Tausend]
DAF / Belebtschlamm [1]	1200	DM 5,0	DM 800
DAF / Raffinerie [2]	300–800	EUR 1,6–1,8	EUR 20–130
IAF / Raffinerie [2]	400–820	EUR 0,5–2,1	EUR 55–130
DAF / als dezentrale End-behandlung [3]	50		DM 4500
DAF [4]	100 m^3/h 100 m^3/d	BEF 40 BEF 4	

[1] [cww/tm/67b] incl. Investitionskosten, Ingineurplanung, Bauingineurarbeiten, Baustellenvorbereitung, etc.
[2] [cww/tm/48]
[3] [cww/tm/132] gesamte Betriebskosten, inkl. Chemikalien für Neutralisation, Fällung and Flockung, Entwässe-rung des Flotats, Verbrennung des Schlamms
[4] [cww/tm/128]

Für eine DAF-Anlage werden indikative Kapital- und Betriebskosten in Abhängigkeit von der Zuflussmenge angegeben. Auch wenn diese Werte den tatsächlichen Zahlen nicht sehr nahe kommen, lassen sie eine Abschätzung der mit zunehmenden Anlagengrößen einhergehenden Kostensteigerung zu [cww/tm/92]:

Zuflussmenge [m^3/h]	Investitionskosten [Millionen GBP]	Jährliche Betriebskosten [Tausend GBP]
10	0,1	10
100	0,1	20–30
1000	0,5	50–80
10000	1,0	500-800

Die Kosten der Flotation, die bei der dezentralen Abwasserbehandlung das am weitesten verbreitete Verfahren zur fest/flüssig- Trennung ist, sind (um etwa den Faktor 10) geringer als die der Eindampfung oder der Verbrennung. Der Nutzen der Eindampfung und der Verbrennung ist jedoch größer, da sie zur vollständigen Entsorgung von hoch kontaminiertem Abwasser führen, wogegen mit Fällungs- und Flotationsverfahren nur eine Teilbehandlung eines mäßig verunreinigten Teilstroms erreicht wird. Der Sinn dieser Teilbehandlung ist auch Gegenstand einiger Diskussionen. Es bleibt eine offene Frage, ob es klug ist, 10 DM pro Kubikmeter Abwasser (oder 4,5 Millionen DM pro Jahr für einen Abwasserteilstrom von 50 m^3/h) als Betriebskosten für die Vorbehandlung eines Stromes auszugeben, der nur einen kleinen Teil des Gesamtabwassermenge eines Großchemiebetriebes darstellt [cww/tm/132].

Im Vergleich zur Sedimentation bietet die Flotation in vielen Fällen beträchtliche Vorteile, nicht nur bei der Wasserbehandlung und Rückgewinnung wertvoller Stoffe, sondern auch bei der Abtrennung und Eindickung von Schlamm. In der Regel führt sie zu höheren Trockensubstanzgehalten des resultierenden Konzentrats. Wegen den größeren hydraulischen Durchsätzen und kürzeren Verweilzeiten werden auch kleinere Apparatevolumina benötigt. Dies wiederum impliziert geringere Investitionskosten, wenn auch auf Kosten höherer Betriebskosten. Ein Vergleich kann für die Sedimentation einen 50 mal größeren Raumbedarf als für die Flotation ergeben. Auf der anderen Seite können die Energiekosten für Flockung/ Flotation etwa 50 mal größer sein als für die Flockung/ Sedimentation. Bei der Flotation bieten sich bessere Möglichkeiten zur Kontrolle und Anpassung an schwankende Betriebsbedingungen als bei der Sedimentation. Um aus diesen Möglichkeiten Vorteil zu schöpfen, muss gut ausgebildetes Personal verfügbar sein [cww/tm/132].

3.3.4.1.4 Filtration

Beschreibung

Bei der Filtration werden Feststoffe aus einem durch ein poröses Medium fließenden Abwasserstrom abgetrennt. Filter erfordern typischerweise Reinigungsoperationen (Rückspülung), bei denen die angesammelten Stoffe mit umgekehrter Fließrichtung von Frischwasser in ein Sedimentationsbecken zurückgespült werden (Abschnitt 3.3.4.1.2).

Allgemein gebräuchliche Filtertypen sind z. B.:

- der mit körnigen Medien gefüllte Filter oder Sandfilter, welcher als Abwasserbehandlungsanlage hauptsächlich bei niedrigen Feststoffgehalten verbreitet eingesetzt wird (das Material des Sandfilters muss nicht wörtlich Sand sein),
- der zur Abwasserbehandlung und Abtrennung von Belebtschlammflocken eingesetzte Schwerkrafttrommelfilter, dessen Wirkungsgrad vom Material des Siebes abhängig ist,
- Rotationsvakuumfilter, gut geeignet für Filtration mit Vorbeschichtung, wird bei der Entwässerung von öligem Schlamm und der Deemulgierung von Altöl eingesetzt,
- Membranfilter (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.5),
- die Bandfilterfilterpresse, die hauptsächlich zur Schlammentwässerung eingesetzt wird,
- Filterpressen, welche für gewöhnlich zur Schlammentwässerung, aber auch als fest/flüssig-Trennverfahren eingesetzt werden, geeignet bei hohen Feststoffgehalten.

Sandfilter bestehen aus einem entweder aufwärts oder abwärts durchströmten Filterbett aus körnigem Material. Das Filterbett kann aus einem oder mehreren Materialien bestehen. Das Verfahren kann semi-kontinuierlich – Filtration und Rückspülung erfolgen nacheinander – oder kontinuierlich – Filtration und Rückspülung erfolgen gleichzeitig – durchgeführt werden. Der Hauptunterschied zwischen den beiden Betriebsweisen ist:

- semikontinuierlich betriebene Sandfilter werden bis zum Durchbruch der Trübung betrieben, bis der Feststoffgehalt im Abwasser zu steigen beginnt, oder bis zum Erreichen eines Druckverlustgrenzwertes,
- bei kontinuierlich betriebenen Sandfiltern gibt es keinen Durchbruch von Trübung und keinen Druckverlustgrenzwert.

Sandfilter arbeiten entweder mit Hilfe der Schwerkraft oder einer angewandten Druckkraft. In Abbildung 3.14 [cww/tm/4] wird ein Beispiel eines konventionellen abwärts durchflossenen Mehrschichtschwerkraftfilters und in Abbildung 3.15 [cww/tm/4] ein Beispiel eines Druckfilters gezeigt.

Trommelfilter bestehen aus einem Zylinder, auf dem die Filteroberfläche aufgewickelt ist. Sie werden entweder als Schwerkrafttrommelfilter, der auf der Innenseite oder auf der Außenseite beaufschlagt werden kann, oder mit einer Vakuumpumpe verbunden als Rotationsvakuumfilter mit innen und außen geschlossener Trommel betrieben. Der Filterkuchen wird mit unterschiedlichen Mitteln von der Trommel entfernt. Ein Beispiel zeigt Abbildung 3.16 [cww/tm/132].

Bandfilterpressen und Filterpressen werden als typische Schlammentwässerungsanlagen in Abschnitt 3.4.1 beschrieben.

Filtermedien können mit Hilfe von Kriterien charakterisiert werden, wie [cww/tm/132]:

- Abschneidegröße, d. h. der Teilchengröße, die gerade noch das Filtermedium passieren kann,
- Permeabilität, wobei hohe Permeabilität durch geringen Druckabfall gekennzeichnet ist,
- chemische Stabilität hinsichtlich des Filtrats,
- Neigung zu Verblockungen, insbesondere des Gewebes bei der Kuchenfiltration,
- mechanische Festigkeit in Bezug auf Belastungen, die durch Rückspülen oder die Bewegung der Filtergewebe auftreten,
- glatte Oberfläche, um die Entfernung des Kuchens zu erleichtern.

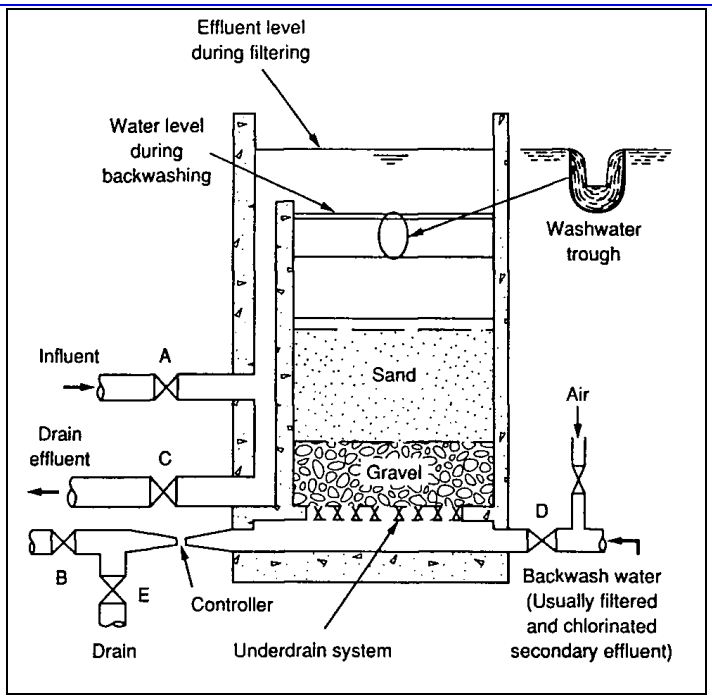

Abbildung 3.14: Konventioneller abwärts durchströmter Mehrschichten-Sandfilter
Backwash water (Usually filtered and chlorinated secondary effluent) = Rückspülwasser (Rückgeführtes Abwasser, für gewöhnlich filtriert und chloriert); Controller = Regler; Drain = Kanalisation; Drain effluent = Abwasserablauf; Effluent level during filtering = Abwasserstand während Filtration; Gravel = Kies; Influent = Zulauf; Sand = Sand; Underdrain system = Entwässerungssystem; Water level during backwashing = Wasserstand während Rückspülung; Washwater trough = Waschwassertrog

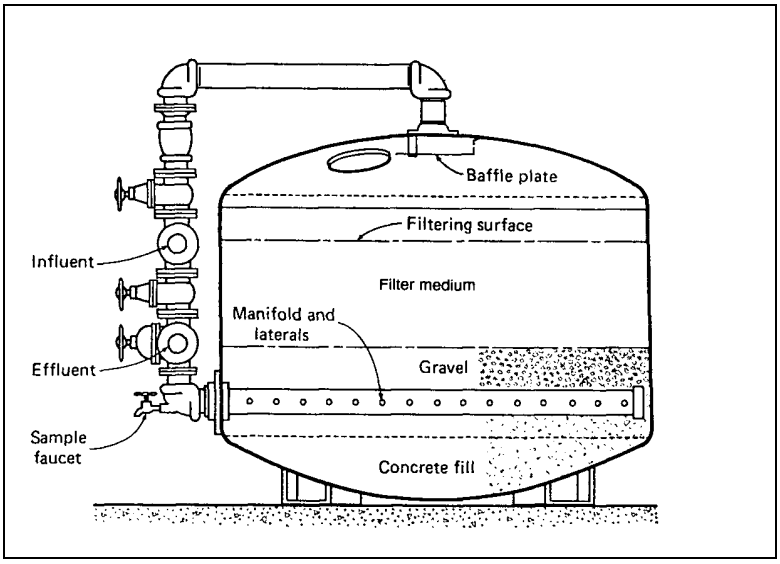

Abbildung 3.15: Druckfilter
Baffle plate = Ablenkblech; Concrete fill = Betonfüllung; Effluent = Ablauf; Filtering surface = Filteroberfläche; Filter medium = Filtermedium; Gravel = Kies; Influent = Zulauf; Manifold and laterals = Sammelrohr mit Ansatzstücken; Sample faucet = Probenahmehahn

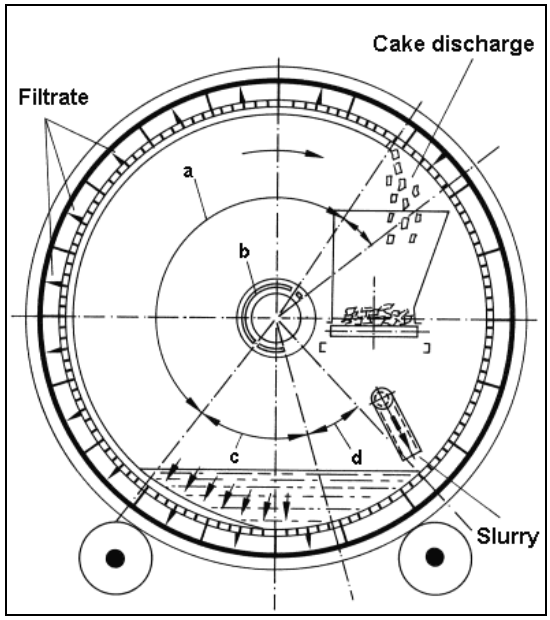

Abbildung 3.16: Rotationsvakuumfilter
a Entwässerungszone, b Rotationsventil, c Absetzzone, d Ansaugzone
Filtrate = Filtrat; Cake discharge = Filterkuchenabwurf; Slurry = Flüssigschlamm

Suspensionen, die aus relativ feinen, weichen oder komprimierbaren Feststoffen bestehen, verfüllen oder verstopfen häufig das Filtermedium, falls das Verstopfen nicht durch Filterhilfen vermieden wird. Dies sind inerte, gut filtrierbare körnige Materialien. Diese Filterhilfen bilden eine für das Filtrat durchlässige Schicht und haben gleichzeitig die Funktionen eines lockeren Filterkuchens. Die zurückgehaltenen Teilchen lagern sich auf der Filterhilfe ab. Beispiele von Filterhilfen sind [cww/tm/132]:

- Kieselgur,
- Perlit,
- Bleicherde,
- Glaspuder,
- Kohlezubereitungen,
- Cellulosefasern,
- Zellstoff,
- Papierstoff,
- Bagasse,
- Talk,
- Kunststoffe.

Filterhilfen werden zur Vorbeschichtung eingesetzt. Dabei lagert sich eine Schicht der Filterhilfe auf dem Filtermedium ab, bevor mit der Filtration begonnen wird. Um das für eine richtige und effektive Filtration erforderliche Verhältnis aufrecht zu erhalten, wird sie während der Filtration kontinuierlich zum Flüssigschlamm zugefügt.

Anwendung

Bei der Abwasserbehandlung wird die Filtration häufig als letzte Trennstufe nach Sedimentationsverfahren (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.2) oder Flotation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.3) eingesetzt, wenn geringe Emissionen von Schwebstoffen gefordert werden, z. B.:

- Abtrennung von Flocken, Schwermetallhydroxiden etc. nach Sedimentation, um Anforderungen an die Einleitung einzuhalten,
- Abtrennen von Belebtschlamm nach der zentralen AWBA, zusätzlich zur Sedimentation, zur Verbesserung der Qualität des biologisch behandelten Abwassers,
- Entwässerung von Schlamm, Flotaten etc.,
- Rückgewinnung von freiem Öl mit Rotationstrommelfiltern mit Hilfe von Polymerzusätzen.

Anwendungsgrenzen and Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Kolloide, Emulsionen	Können nicht ohne zusätzliche chemische Behandlung abgetrennt werden
Feindisperse oder schleimige Feststoffe	Können das Filtermedium verstopfen, falls keine Filterhilfen eingesetzt werden

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Trennleistung. • Unter bestimmten Umständen können andere Schadstoffe als suspendierte Feststoffe, wie Öl entfernt werden. • In einem breiten Bereich von Betriebsbedingungen anwendbar.	• Bei semikontinuierlich betriebenen Sandfiltern Verstopfungen und Foulingprozesse möglich. • Durchbruch kann zusätzliche Schadstoffbelastung des Abwassers verursachen.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
Abf. Stoffe		<10 mg/l	Belebtschlammflocken
	50–99,99 [1]		Sandfilter, abhängig von Filterhilfen
Freies Öl		<5 mg/l	
Schwermetalle			Nach der Fällung, vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1

[1] [cww/tm/128]

Medienübergreifende Wirkungen

Wenn ein mit körnigem Material gefüllter Filter, z. B. ein Sandfilter eingesetzt wird, werden die rückgespülten Stoffe für gewöhnlich in den Prozess zurückgeführt, bei dem sie angefallen sind, z. B. dem Sedimentationsbecken oder dem Belebtschlammbecken der biologischen Abwasserbehandlungsanlage. Bei anderen Filtertypen (Trommelfilter, Bandfilter, etc.) können die Rückstände entweder zurückgeführt werden oder müssen als Abfall entsorgt oder einer weiteren Behandlung unterzogen werden.

Die Sandfiltration, als ein Beispiel für eine Tiefenfiltration, erfordert eine weniger häufige Rückspülung als die Kuchenfiltration (z. B. Band- oder Trommelfiltration) und hat damit einen geringeren Rückspülwasserbedarf. Aus diesem Grund wird die Kuchenfiltration nur in Ausnahmefällen bei der Abwasserbehandlung eingesetzt (Beispiele oben in diesem Kapitel) [cww/tm/132].

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Sandfilter	Trommelfilter
Wasser für Rückspülung		–
Wasser für Vakuumerzeugung	–	
Filterhilfen		
Energie [kWh/1000 m^3]		
Druckverlust		

Die Betriebseinrichtung kann eine erhebliche Lärmquelle darstellen. Sie kann durch Kapselung der Hauptquellen gemindert werden.

Falls geruchsintensive Stoffe freigesetzt werden können, werden geschlossene Einrichtungen notwendig. Druckfilter und Filterpressen werden in geschlossenen Behältern aufgestellt und die Abluft wird einem Abgasbehandlungssystem zugeleitet.

Überwachung

Um einen verlässlichen Betrieb sicher zu stellen, muss die Trübung des Filterablaufes überwacht werden, um beim semikontinuierlichen Sandfilter Störungen oder einen Durchbruch zu erkennen. Zur Anzeige von Verstopfungen und Rückstau muss der Druckverlust aufgezeichnet werden.

Ökonomische Daten

	Durchflussmenge [m^3/h]	Investitionskosten [Millionen]	Betriebskosten
Sandfilter [1]	100	4 BEF	2 BEF/m^3
[1] [cmm/tm/128]			

3.3.4.1.5 Mikrofiltration und Ultrafiltration

Beschreibung

Mikrofiltration (MF) und Ultrafiltration (UF) sind Membranverfahren, bei denen eine durch eine Membran fließende Flüssigkeit aufgetrennt wird. Das Permeat tritt durch die Membran und das Konzentrat wird zurückgehalten. Die Triebkraft des Verfahrens ist die Druckdifferenz entlang der Membran. Beides sind spezielle und ausgefeilte Filtrationstechniken, die bereits in den vorangegangenen Kapiteln angesprochen wurden.

Die für MF und UF eingesetzten Membranen sind 'Porentyp'-Membranen, die wie Siebe funktionieren. Lösemittel und Teilchen mit Molekülgröße können durch die Poren treten, wohingegen suspendierte Teilchen, kolloidale Teilchen, Bakterien, Viren und sogar größere Makromoleküle zurückgehalten werden.

Tabelle 3.3 zeigt typische Eigenschaften.

Parameter	Mikrofiltration	Ultrafiltration
Porendurchmesser [µm] [1]	0,1-1	0,001–0,1
Betriebsdruck [MPa] [2]	0,02–0,5	0,2–1
Abschneidegröße [nm]	>100, auch Bakterien	10-100, auch Makromoleküle, Viren, kolloidale Teilchen 1000–100000 g/mol bei Lösungen
Permeatfluss [l m^{-2} h^{-1}]	50–1000	<100
Querstromgeschwindigkeit [m/s] [2]	2-6	1-6
Membrantyp [3]	symmetrische polymere oder keramische, 10–150 µm dick	Polymere oder keramische asymmetrische
Membrankonfiguration [3]	spiralförmige Hohlfaser Röhren	spiralförmige Hohlfaser Röhren
[1] [cww/tm/27] [2] [cww/tm/132] [3] [cww/tm/93]		

Tabelle 3.3: Eigenschaften von Mikrofiltration (MF) und Ultrafiltration (UF)

Membranen für MF und UF sind in mehren Materialien und Konfigurationen verfügbar. Die optimale Modifikation für eine bestimmte Anwendung wird von der Art des Abwassers abhängen, da unterschiedliche Materialien unterschiedliche Widerstandsfähigkeiten gegenüber gelösten Stoffen haben. Membranmaterialien für MF sind z. B.:

- Glasfaser,
- Polycarbonat,
- PVDF (Polyvinylidenfluorid),
- Celluloseacetat,
- Polyamid.

Geeignete Materialien für UF sind für gewöhnlich organische Polymere, z. B.:

- Celluloseacetat,
- Polyamid,
- Polyimid,
- Polycarbonat,
- Polyvinylchlorid,
- Polysulfon,
- Polyethersulfon,
- Polyacetal,
- Copolymere von Acrylnitril und Vinylchlorid,
- Polyelektrolyt-Komplexe,
- vernetzter Polyvinylalkohol oder Polyacrylate.

PVDF-Membranen haben den Vorteil, dass sie mit starken Säuren, Natronlauge und Bleichmitteln gereinigt werden können.

Membranfilterverfahren werden gewöhnlich im Querstrom betrieben, der Permeatfluss ist senkrecht zum Zulauf. Die Verunreinigungen verbleiben im Zulauf, welcher mit einem verminderten Volumen das Membransystem als aufkonzentrierter Abfallstrom verlässt.

Für die Lagerung des Konzentrats sollten Einrichtungen zur Verfügung stehen.

Anwendung

Die Membranfiltration (MF und UF) wird angewandt, wenn für nachgeschaltete Einrichtungen, z. B. eine Umkehrosmose, ein feststofffreies Abwasser oder die vollständige Entfernung gefährlicher Verunreinigungen, wie Schwermetallen, notwendig ist. Die Wahl zwischen MF und UF ist von der Teilchengröße abhängig.

Übliche Anwendungen von MF umfassen [cww/tm/93; cww/tm/67a]:

- Entfettungsverfahren,
- Rückgewinnung von metallischen Partikeln,
- Behandlung von Abwasser aus der Leiterplattenfertigung,
- Schlammabtrennung nach dem Belebungsverfahren in einer zentralen biologischen AWBA an Stelle einer Nachklärung (Aktivmembranverfahren). Aber auch UF kann eingesetzt werden.

Übliche Anwendungen von UF umfassen:

- Entfernung nicht toxischer abbaubarer Schadstoffe, wie Proteinen und anderen makromolekularen Verbindungen und toxischen nicht abbaubaren Verbindungen, z. B. Farben und Lacken, mit Molekulargewichten über 1000 g/mol.
- Trennung von Öl/Wasser-Emulsionen.
- Abtrennung von Schwermetallen nach Komplexierung oder Fällung.
- Abtrennung von Verbindungen, die in Abwasserreinigungsanlagen schwer abbaubar sind, um diese nachfolgend in die biologische Stufe zurückzuführen.
- Als Vorbehandlung vor Umkehrosmose oder Ionenaustausch.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Membranmaterial	Abhängig von den Abwasserinhaltsstoffen empfindlich gegenüber chemischen Angriffen

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Trennleistung. • Modulare Systeme, flexibel in der Anwendung.	• Verstopfungen, Zusetzen und Foulingprozesse sind möglich. • Verdichtung bei Vorhandensein von Weichmachern. • Hoher Betriebsdruck, deshalb viel Energie für Pumpen. • Keine mechanische Stabilität.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
Abf. Stoffe	um 100	nahe 0	
CSB			
Schwermetalle			vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1

Medienübergreifende Wirkungen

Membranbehandlung führt zu einem Rückstand (Konzentrat) mit etwa 10 % des ursprünglichen Volumens des Zulaufes, in welchem die Zielschadstoffe gegenüber dem ursprünglichen Zulauf in etwa 10-facher Konzentration vorhanden sind. Es sollte eine Beurteilung vorgenommen werden, ob der Rückstand entsorgt werden kann.

Bei organischen suspendierten Stoffen kann eine Konzentrationserhöhung die Voraussetzungen für nachfolgende oxidative Zerstörungsverfahren verbessern. Bei anorganischen suspendierten Stoffen sollte die Aufkonzentrationsstufe als Teil eines Rückgewinnungsverfahrens eingesetzt werden. In beiden Fällen kann das Permeatwasser aus einem Membranverfahren möglicherweise wiederverwendet oder in den industriellen Prozess zurückgeführt und damit der Wasserbedarf und die Einleitung verringert werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterialien	MF	UF
Membranmaterial		-
Chemikalien (Antiscaling, Antifouling, Rückspülung, etc.)	-	
Energie [kWh/m^3]	2-20 [1]	1-10 [1]
Druckverlust	vgl. Tabelle 3.3	vgl. Tabelle 3.3

[1] Es mag überraschen, dass die MF als das Verfahren mit dem geringsten Druckverlust mehr Energie verbraucht als die Verfahren mit höherem Druckverlust. Ursache dafür ist das Auftreten einer Konzentrationspolarisation und von Fouling. Bei MF, und in geringerem Umfang bei UF, tritt dies sehr heftig auf und führt zu einer drastischen Abnahme des Flusses [cww/tm/161].

Der Energieverbrauch korreliert mit der Querstromgeschwindigkeit und den erforderlichen Drücken. Dies hängt im Allgemeinen damit zusammen, dass eine Mindestgeschwindigkeit von etwa 2 m/s entlang der Membranoberfläche erforderlich ist.

Die Pumpeneinrichtungen sind Lärmquellen, die gekapselt werden können.

Überwachung

Um einen verlässlichen Betrieb zu garantieren, muss die Druckdifferenz entlang der Membran kontinuierlich überwacht werden.

Ökonomische Daten

	Durchfluss-menge [m^3/h]	Investitionskosten	Betriebskosten	Wiederbeschaf-fungskosten
MF		400–1500 GBP [1] pro m^2 Membran [a]		80–350 GBP [1] pro m^2 Membran [a]
		40000 BEF [2] pro m^2 Membran	2-200 BEF [2] pro m^3 Abwasser	
UF		400–1500 GBP [1] pro m^2 Membran [a]		80–350 GBP [1] pro m^2 Membran [a]
		60000-200000 BEF [2] pro m^2 Membran [b]		

[a] für Hohlfasern, spiralförmige und keramische Membranen
[b] unterer Wert organische Membranen, höherer Wert anorganische Membranen
[1] [cww/tm/93]
[2] [cww/tm/128]

Die Investitionskosten, einschließlich automatisierter Reinigung, können etwa wie folgt aufgegliedert werden [cww/tm/93]:

Pumpen	30 %
auswechselbare Membrankomponenten	20 %
Membranmodule (Gehäuse)	10 %
Rohrleitungsnetz, Ventile, Grundstruktur	20 %
Überwachungssystem	15 %
andere	5 %

Die Betriebskosten [cww/tm/93] leiten sich ab von:

- Energiekosten für die Aufrechterhaltung des hydrostatischen Drucks und der Durchflussmenge des Systems,
- erwartete Standzeit der Membran,
- erforderliches Reinigungsregime,
- Standortabhängige Faktoren, z. B. Bedarf an Arbeitskräften.

Diese können etwa wie folgt aufgegliedert werden [cww/tm/93]:

auswechselbare Membrankomponenten	35–50 %
Reinigung	12–35 %
Energie	15–20 %
Arbeitskräfte	15–18 %

3.3.4.1.6 Öl/Wasser-Trennung

Beschreibung

Die Trennung von Öl und Wasser und die nachfolgende Entfernung des Öls kann unterteilt werden in:

- Schwerkraftabtrennung von freiem Öl mittels Abscheideanlagen,
- Emulsionsspaltung, unter Einsatz emulsionsspaltender Chemikalien, wie:
  - mehrwertiger Metallsalze wie Alaun, Aluminiumtrichlorid, Eisenchlorid, Eisensulfat,
  - Mineralsäuren wie Schwefelsäure, Salzsäure, Salpetersäure,
  - Adsorbentien, wie Tonstaub, Kalk,
  - organischer Polymere, wie Polyamine, Polyacrylate,

und nachfolgender Trennung des deemulgierten Öls durch Koagulation/ Flockulation und Entspannungsflotation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.3).

Die üblicherweise eingesetzten Ölabscheider sind:

- als einfachster Typ der vom **American Petroleum Institute** entwickelte **Abscheider (API)**, bestehend aus einem rechteckigen Becken und einem Bandräumer, wobei letzterer den Schlamm zu einer Sammelgrube und das Öl zu einer Abschöpfeinrichtung befördert, der in der Lage ist, große Öltropfen abzuscheiden (vgl. Abbildung 3.17 [cww/tm/91]);

- der **Parallelplattenabscheider (PPI)**, ausgerüstet mit zum Strom parallelen Platten, welche die aktive Oberfläche wesentlich vergrößern und einer Ölabschöpfeinrichtung. Er ist nicht geeignet, große Öltropfen abzuscheiden (vgl. Abbildung 3.18 [cww/tm/91]);

- der **Wellplattenabscheider (CPI)**, ausgerüstet mit im Gegenstrom angeordneten gewellten Plattenstapeln und einer Ölabschöpfeinrichtung; nicht geeignet zur Abscheidung großer Ölklumpen, besitzt aber eine gute Trennleistung (vgl. Abbildung 3.19 [cww/tm/91]).

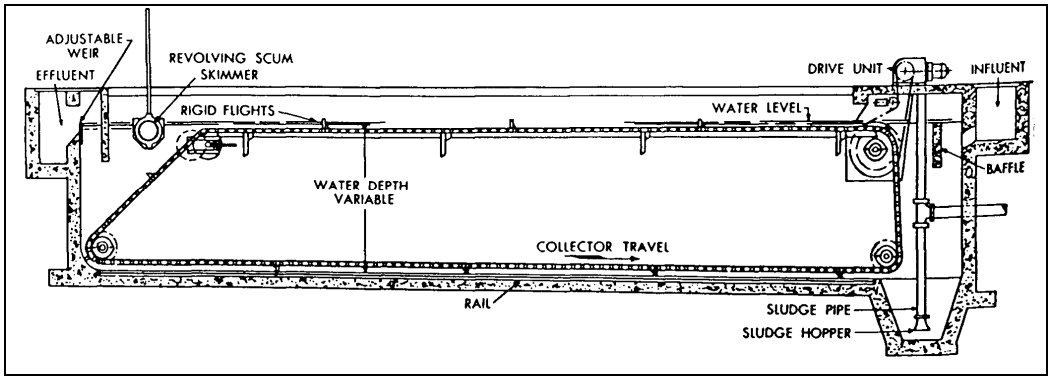

Abbildung 3.17: American Petroleum Institute Abscheider (API-Abscheider)
Adjustable weir = Verstellbarer Überlauf; Baffle = Tauchwand; Collector Travel = Laufrichtung der Räumeinrichtung; Drive unit = Antrieb; Effluent = Ablauf; Influent = Zulauf; Rail = Schiene; Revolving scum Skimmer = Rotierende Schwimmschichtaufsauger; Rigid flights = Starre Züge; Sludge hopper = Schlammtrichter; Sludge pipe = Schlammleitung; Wasser depth variable = Veränderliche Wassertiefe; Water level = Wasserstand

Mehrere Arten von Abschöpfeinrichtungen werden eingesetzt, um die Ölphase zu sammeln und abzuführen und sie einer Rückgewinnung oder einer weiteren Behandlung zuzuführen, z. B.:

- feste Rohrskimmer,
- rotierende Beckenskimmer,
- rotierende Scheiben- oder Trommelskimmer.

Falls das Öl nicht unmittelbar zurückgeführt werden kann, sind Einrichtungen zur Lagerung des abgeskimmten Öls und des Schlamms erforderlich.

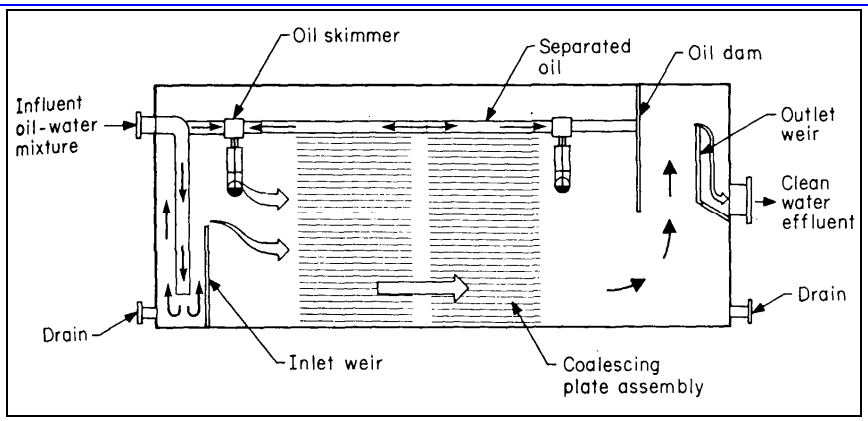

Abbildung 3.18: Parallelplattenabscheider (PPI)
Clean water effluent = Klarwasserablauf; Coalescing plate assembly = Koaleszensplattenaufbau; Drain = Kanalisation; Influent oil - water mixture = Zulauf Öl/Wasser-Mischung; Inlet weir = Überlauf des Zulaufs; Oil skimmer = Ölskimmer; Oil dam = Ölwehr; Outlet weir = Überlauf des Ablaufs; Separated oil = Abgetrenntes Öl

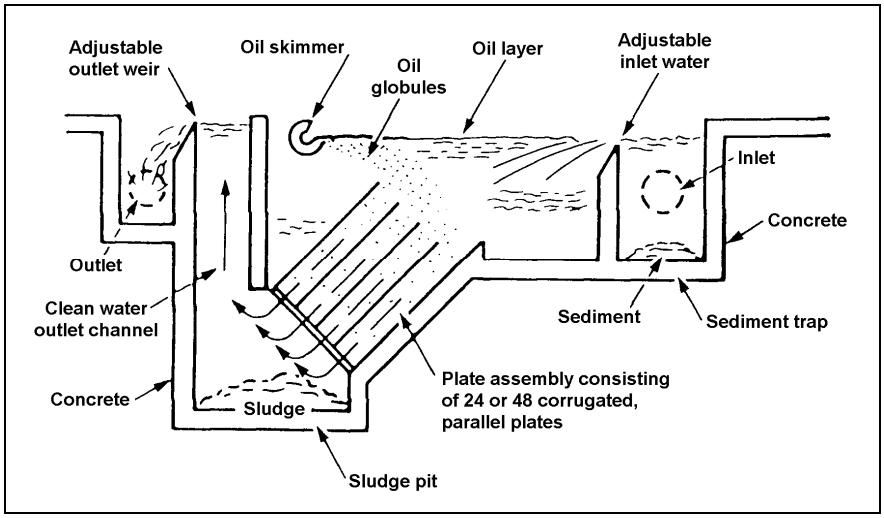

Abbildung 3.19: Wellplattenabscheider (CPI)
Adjustable inlet water = Verstellbarer Wasserzulauf; Adjustable outlet weir = Verstellbarer Überlauf des Ablaufs; Cleanwater outlet channel = Klarwasserablaufgerinne; Concrete – Beton; Inlet – Zulauf; Oil skimmer = Ölskimmer; Oil globules = Öltröpfchen; Oil layer = Ölfilm; Outlet = Ablauf; Sediment = Sediment; Sediment trap = Sedimentfalle; Sludge = Schlamm; Sludge pit = Schlammgrube; Plate assembly consisting of 24 or 48 corrugated, parallel plates = Plattenaufbau, bestehend aus 24 oder 48 gewellten, parallelen Platten

Anwendung

Die Öl/Wasser-Trennung wird angewandt, um Öle, Fette und andere nicht lösliche Flüssigkeiten, die leichter als die wässrige Phase des Abwassers sind, hauptsächlich in Raffinerien und petrochemischen Standorten, zu entfernen. Es ist für gewöhnlich kein stand-alone Verfahren. Es folgt eine Flotation (IAF or DAF), unterstützt durch Koagulation / Flockulation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.3). Der API-Abscheider wird auch als Überwachungseinrichtung zum Schutz nachfolgender Anlagen gegen große Ölklumpen eingesetzt, welche z. B. bei Betriebsstörungen anfallen können, wogegen PPI- und CPI-Abscheider einen höheren Wirkungsgrad bei der Entfernung kleiner Öltröpfchen aufweisen.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Öl kann zurückgewonnen und in die Prozesse zurückgeführt werden. • Der Wirkungsgrad hinsichtlich der Entfernung kleiner Öltröpfchen und das Verhältnis der aktiven Oberfläche / Grundfläche steigt an in der Reihenfolge API – PPI – CPI.	• Nur API-Abscheider können große freie Öltropfen und Feststoffe abscheiden (etwa bei Betriebsstörungen). • Die Platten der PPI- und CPI-Abscheider sind empfindlich gegenüber Fouling, deshalb höherer Instandhaltungsbedarf. • Abtrennung löslicher Stoffe nicht möglich.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswerte [mg/l]	Bemerkungen
Öl	90–95		
		6-90 mg/l [1]	API, Raffinerie
		40–70 mg/l [2]	API, chemische Industrie
Feststoffe	90–95		

[1] [persönliche Information]
[2] [cww/tm/93]

Medienübergreifende Wirkungen

Das abgeskimmte Öl wird für gewöhnlich in die Prozesse rückgeführt, um dort nach einfachen Reinigungsverfahren wiederverwendet zu werden. Ansonsten handelt es sich um chemischen Abfall, der zusammen mit den abgetrennten Feststoffen ordnungsgemäß entsorgt werden muss.

Als Teil von Abwasserbehandlungssystemen liefern nicht abgedeckte Ölabscheider die wichtigsten Beiträge zu den VOC-Freisetzungen und sind deshalb wichtigste Quellen für Gerüche und Gesundheitsrisiken. Durch Abdecken der Oberfläche werden die VOC-Freisetzungen um etwa 95 % gemindert [cww/tm/48]. Andererseits können durch das Abdecken Probleme beim Skimmen verursacht werden und dazu führen, dass der Betrieb der Anlagen nur schwer überprüft werden kann. Welche Möglichkeit genutzt wird, wird die örtliche Situation bestimmen. Falls der Abscheider abgedeckt wird, muss das Abgas einer Behandlungsanlage mit einem angemessenen Sicherheitssystem zur Vermeidung von Explosionsrisiken zugeführt werden, z. B. einer Behandlungsanlage, die mit Stickstoff unter Druck gesetzt ist.

Pumpen, welche gewöhnlich geschlossen sind, und die Abschöpfeinrichtung stellen Lärmquellen dar. Es müssen angemessene Minderungsmaßnahmen durchgeführt werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterialien	API	PPI	CPI
Stickstoff aus unter Druck stehendem System als Sicherheitseinrichtung [a]	0,05 m/h		
Energie [kWh/m^3]			

[a] Stickstoffgasstrom im Verhältnis zur Oberfläche [m^3/(m^2 h)]

Überwachung

Um einen sicheren Betrieb zu garantieren, muss der Ablauf regelmäßig visuell überwacht werden, z. B. durch Überprüfungen auf Ansammlung von Öl. Abschöpfeinrichtung und Ölwehr müssen regelmäßig gewartet werden.

Ökonomische Daten

	Durchflussmenge [m^3/h]	Investitionskosten [Millionen]	Betriebskosten	Bemerkungen
API	1200	2,0 EUR [1]		
PPI				
CPI	100	2–10 BEF [2]	2–4 BEF / m^3 [2] a	

[a] Arbeitskosten 3 h/d
[1] [cww/tm/48]
[2] [cww/tm/128]

3.3.4.2 Lösliche, biologisch nicht abbaubare oder hemmende Verunreinigungen / Physikalisch-chemische Behandlung

Lösliche, biologisch nicht abbaubare Verunreinigungen des Abwassers können in drei Klassen von Verbindungen unterteilt werden:

- anorganische Verbindungen, wie Salze oder Schwermetallverbindungen,
- organische Verbindungen als Quelle von refraktärem TOC,
- hemmende organische oder anorganische Verbindungen, welche die biologischen Verfahren in einer biologischen AWBA stören.

Anorganische Verbindungen werden durch biologische Behandlung nicht angegriffen und können, wie der refraktäre TOC, möglicherweise die biologischen Verfahren in einer biologischen AWBA stören. Beide erfordern üblicherweise eine spezielle, der zentralen AWBA vorgeschaltete Vorbehandlung. Vorbehandlungsverfahren sind:

- Bildung fester Produkte durch chemische Umwandlungen, die in einem nachfolgenden Verfahren, wie Abschnitt 3.3.4.1 beschrieben (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.1 und 3.3.4.2.2) abgetrennt werden,
- Bildung biologisch abbaubarer Verunreinigungen durch chemische Abbauprozesse (vgl. Abschnitte 3.3.4.2.3 bis 3.3.4.2.7),
- physikalische Eliminationsverfahren (vgl. Abschnitte 3.3.4.2.9 bis 3.3.4.2.14),
- Bildung gasförmiger und fester Rückstande, die aus dem Abwasserstrom abtrennbar sind, mittels Verbrennungsverfahren (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.15).

Bei neuen chemischen Anlagen in Deutschland ist es übliche Praxis, solche Verfahren zur Vorbehandlung von Abwasserteilströmen (oder stattdessen verfahrensintegrierte Maßnahmen) einzusetzen, die eine erhebliche biologisch nicht abbaubare Fracht enthalten (z. B. TOC-Eliminationsgrade unter 80 % und refraktäre TOC-Fracht von etwa 20 kg/d, 300 kg/a und 1 kg/Tonne Produkt, unabhängig von den örtlichen Verhältnissen). Bei bestehenden Anlagen werden solche Maßnahmen ergriffen, mit denen eine optimale Leistung hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Nutzen für die Umwelt und Kosten erreicht wird. Zu Details vgl. Abschnitt 0.

3.3.4.2.1 Fällung

Beschreibung

Bei der Fällung werden auf chemische Weise dispergierte Stoffe gebildet, die mit einem weiteren Verfahren, wie Sedimentation (Abschnitt 3.3.4.1.2), Entspannungsflotation (Abschnitt 3.3.4.1.3), Filtration (Abschnitt 3.3.4.1.4) und falls notwendig, durch MF oder UF (Abschnitt 3.3.4.1.5) abgetrennt werden. Um nachgeschaltete Anlagen zu schützen oder um die Einleitung gefährlicher dispergierter Stoffe zu vermeiden, kann eine Feinabtrennung mittels Membrantechniken notwendig sein. Sie kann ebenso eine nützliche Technik zur Entfernung kolloidaler Niederschläge (z. B. Schwermetallsulfide) sein.

Eine Fällungsanlage besteht für gewöhnlich aus einem oder mehreren gerührten Mischtanks, wo das Agens und evtl. weitere Chemikalien zugesetzt werden, einem Sedimentationsbecken sowie Lagertanks für das chemische Agens. Falls erforderlich, werden – wie oben erwähnt – weitere Behandlungsanlagen hinzugefügt. Das Sedimentationsbecken kann durch andere nachgeschaltete Einrichtungen zur Rückhaltung von Schlamm ersetzt werden.

Typische Fällungschemikalien sind:

- Kalk (bei Kalkmilch sind die Ansetzeinrichtungen Bestandteil der Behandlungsanlage) (für Schwermetalle),
- Dolomit (für Schwermetalle),
- Natiumhydroxid (für Schwermetalle),
- Soda (Natriumcarbonat) (für Schwermetalle),
- Calciumsalze (außer Kalk) (für Sulfate oder Fluoride),
- Natriumsulfid (für Quecksilber),
- Polyorganosulfide (für Quecksilber).

Zur Unterstützung der weiteren Trennung werden diese häufig durch Flockungsmittel ergänzt, wie:

- Eisen und Eisensalze,
- Aluminiumsulfat,
- Polymere,
- Polyorganosulfide.

Anwendung

Fällung kann an unterschiedlichen Stellen des Abwasserstroms eingesetzt werden, z. B.:

- direkt an der Anfallstelle, um Schwermetalle am effektivsten, unter Vermeidung der Verdünnung mit nicht belasteten Strömen, zu entfernen,
- als zentrale Behandlungstechnik zur Entfernung von Phosphaten, Sulfaten und Fluoriden, unter der Voraussetzung, dass keine unangemessene Verdünnung zu erwarten ist,
- zur Phosphatelimination nach der biologischen Stufe einer zentralen AWBA, wobei der Schlamm in einer Nachklärung zurückgehalten wird.

Die Leistung der weiteren flüssig/fest-Trennung hängt für gewöhnlich von Faktoren, wie pH, Qualität der Mischung, Temperatur oder Verweilzeit in der Fällstufe ab. Die geeigneten Bedingungen müssen in von Fall zu Fall in einem Versuch gefunden werden.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
pH-Einstellung	optimaler pH-Bereich für Schwermetalle, Phosphate, Fluoride: pH 9–12, falls Sulfide eingesetzt werden, entstehen bei sauren Bedingungen Hydrogensulfide
Komplexbildende Stoffe	können die Fällung von Schwermetallen, wie Kupfer, Nickel verhindern

Vorteile und Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
Mit Kalk als Agens • Vermeidung der Erhöhung des Salzgehaltes im Abwasser. • Erhöhung der Pufferkapazität der zentralen biologischen AWBA. • Verbesserung der Schlammsedimentation. • Schlammeindickung. • Verbesserung der mechanischen Entwässerbarkeit des Schlamms. • Verringerung der Entwässerungszykluszeit. • Geringe Kosten.	Mit Kalk als Agens • Mit Lagerung, Umgang und der Zugabe von Kalk verbundene Betriebsprobleme [cww/tm/4]. • Erhöhung der Schlammmenge aufgrund des Calciumhydroxidüberschusses • Probleme bei der Wartung [cww/tm/4].
Mit Natriumsulfid • Verringerung der Schlammmenge (etwa 30 % des Volumens der Kalkbehandlung). • Verringerung der Menge der eingesetzten Chemikalien (etwa 40 %, verglichen mit der Kalkbehandlung). • Für Metalle resultieren im behandelten Abwasser niedrigere Werte. • Keine Vor- oder Nachbehandlung erforderlich. • Äußerst effektiv bei der Entfernung suspendierter und gelöster Metalle aus einem Abwasserstrom.	Mit Natriumsulfid • Entstehung von Hydrogensulfid, falls versehentlich die Charge sauer wird. • Mit Natriumsulfid verbundene Geruchsprobleme.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Emissionswert [mg/l]	Agens	Bemerkungen
Quecksilber			
Cadmium			
Kupfer			
Nickel			
Blei			
Chrom (III)			
Chrom (VI)			
Zink			
Zinn			
Aluminium			
Eisen(III)			
Eisen(II)			
Sulfat			
Phosphat			
Fluorid			

Die für Schwermetalle erreichbaren Emissionswerte variieren stark, abhängig von spezifischen Gegebenheiten, wie:

- Elimination einer Schwermetallsorte aus einer anorganischen Abwassermatrix,
- Elimination einer Mischung von Schwermetallen aus einer anorganischen Abwassermatrix,
- Elimination von Schwermetallen aus einer organischen Abwassermatrix mit Neigung zur Bildung von Metallkomplexen, z. B. Farbstoffen.

Zum Zeitpunkt der Schreibarbeiten standen die erforderlichen Informationen zum Ausfüllen der obigen Tabelle nicht zur Verfügung.

Medienübergreifende Wirkungen

Die Niederschläge müssen für gewöhnlich als Schlamm entsorgt werden. Zumindest wenn Schwermetalle beteiligt sind, ist dieser Schlamm häufig chemischer Abfall. Dieser Abfall kann Schwermetallkarbonate, -fluoride, -hydroxide (oder -oxide), -phosphate, -sulfate, -sulfide enthalten.

Pumpen und Schlammbeseitigungsanlagen sind Lärmquellen. Zur Lärmminderung müssen angemessene Maßnahmen ergriffen werden.

Wenn Freisetzungen flüchtiger und geruchsintensiver Stoffe zu erwarten sind, sollte die Fällung in geschlossenen Tanks oder abgedeckten und an Abgasbehandlungsanlagen angeschlossenen Becken betrieben werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Fällungsmittel (Kalk, Dolomit, Eisen und Eisensalze, Eisensulfat / Natriumsulfid, Aluminiumsulfat, Polymere, Polyorganosulfide)	Abhängig von der Schadstofffracht
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Während des Fällungsprozesses muss der pH-Wert und die Dosierung von Agenzien, Flockulationsmitteln und/oder Koagulationsmitteln sorgfältig eingestellt werden.

Ökonomische Daten

Art der Kosten	Kosten	Durchflussmenge [m^3/h]	Bemerkungen
Investitionskosten			
Betriebskosten			

3.3.4.2.2 Kristallisation

Beschreibung

Die Kristallisation ist eng mit der Fällung verwandt. Im Unterschied zur Fällung wird der Niederschlag nicht durch eine chemische Reaktion im Abwasser gebildet, sondern in einem Fliessbettverfahren - einem Kristallisationsreaktor - auf Impfmaterialien, wie Sand oder Mineralien. Die Kristalle wachsen und bewegen sich zum Reaktorboden hin. Triebkräfte des Verfahrens sind die Dosierung der Reagenzien und die pH-Einstellung. Es entsteht kein Abfallschlamm. Das Prinzip einer Kristallisationsanlage ist in Abbildung 3.20 veranschaulicht [cww/tm/97].

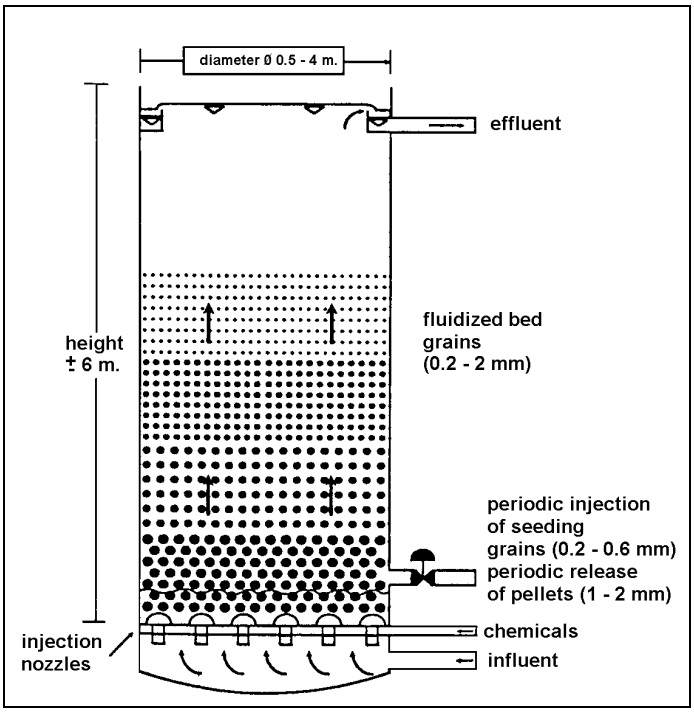

Abbildung 3.20: Prinzip des Kristallisationsverfahrens
Diameter = Durchmesser; effluent = Ablauf; fluidized bed grains = Fliessbettkörner; height = Höhe; chemicals = Chemikalien; influent = Zulauf; injection nozzles = Einspritzdüsen; periodic injection of seeding grains = periodische Einspritzung von Impfkörnern; periodic release of pellets = periodischer Abzug von Kristallen

Die Kristallisationsanlage besteht hauptsächlich aus:

- dem zylindrischen Reaktor mit Zulauf am Boden und Ablauf am Kopf,
- Kristallen aus Filtersand oder Mineralien als Impfmaterial im Fliessbettzustand,
- dem Umlaufsystem mit Umwälzpumpe.

Mit einer Zulaufgeschwindigkeit des Abwassers von 40–120 m/h werden die Kristalle in einem Fliessbettzustand gehalten [cww/tm/97]. Die Prozessbedingungen am Boden des Reaktors sind so gewählt, dass eine vergleichsweise hohe Übersättigung der gewünschten Salze auftritt. Das Fliessbett bietet eine sehr große Kristallisationsoberfläche (5000–10000 m^2/m^3), so dass in einer schnellen und kontrollierten Reaktion nahezu alle enthaltenen Anionen oder Metalle auf den Kristallen auskristallisieren. Ein Teil der Kristalle wird periodisch abgezogen und durch neues Impfmaterial ersetzt. Dies erfolgt typischerweise einmal täglich.

Das Prinzip des Umlaufsystems besteht im Vermischen des zulaufenden Abwassers mit dem Umlaufstrom mit geringeren Anionen- oder Metallkonzentrationen. Aufgrund des Umlaufsystems kann der Reaktor deutlich flexibler arbeiten, z. B.:

- Schwankungen des Zulaufstroms und seiner Zusammensetzung werden einfach ausgeglichen.
- Alle Arten von Abwasser mit Konzentrationen im Bereich von 10–100000 ppm können behandelt werden, indem einfach das Rücklaufverhältnis angepasst wird (höher konzentriertes Abwasser erfordert ein höheres Rücklaufverhältnis).
- Der Fliessbettzustand der Kristalle wird auch dann aufrechterhalten, wenn kein Abwasser zugeführt wird.

Wenn sehr strenge Anforderungen eingehalten werden müssen, kann das Abwasser mit einer konventionellen oder kontinuierlichen Sandfiltration oder Membranfiltration nachbehandelt werden. Diese Filtrationsstufe kann entweder innerhalb des Umlaufkreislaufs oder am Ablauf des Abwassers angeordnet sein. Das behandelte Abwasser wird zur Rückspülung von konventionellen Sandfiltern eingesetzt. Die durch den Filter entfernten Feststoffe werden durch Mischen mit dem sauren Zulauf oder durch Ansäuern rückgelöst und in den Reaktor zurückgeführt. Ein Beispiel eines Kristallisationsverfahrens in einer chemischen Produktion zeigt Abbildung 3.21 [cww/tm/97].

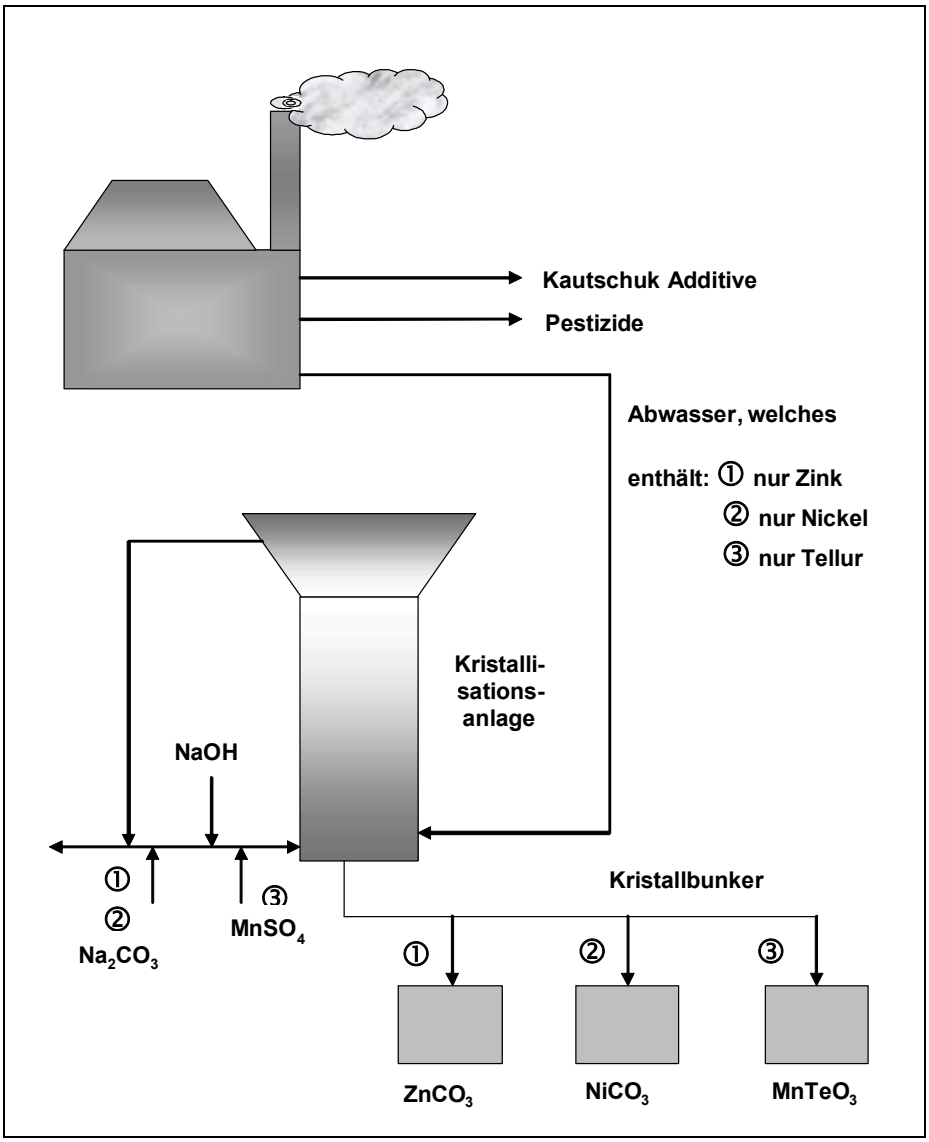

Abbildung 3.21: Mehrzweckanwendung der Kristallisation in einer chemischen Produktion

Anwendung

In den meisten Fällen wird die Kristallisation zur Entfernung von Schwermetallen aus Abwasserströmen eingesetzt und um diese nachfolgend für eine weitere Verwendung zurückzugewinnen. Aber auch Fluoride, Phosphate und Sulfate können behandelt werden. Einsatzbeispiele in der chemischen Industrie sind [cww/tm/97]:

- Rückgewinnung von Zink, Nickel und/oder Tellur bei der Herstellung von Kautschukadditiven, bei Zulaufkonzentrationen zwischen 50 und 250 ppm,
- Rückgewinnung von Nickel und Aluminium bei der Herstellung von Elastomeren. Die Kristallisationsanlage wird vor der zentralen biologischen AWBA betrieben, bei Zulaufkonzentrationen zwischen jeweils 50 und 400 ppm für Nickel und Aluminium.

Im Prinzip können durch Kristallisation nahezu alle Schwermetalle, Halbmetalle und Anionen aus allen Abwasserarten entfernt werden. Ist die Löslichkeit des entstehenden Salzes gering und kristallisiert das Metall oder Anion schnell in einem stabilen Kristallgitter aus, ist die Bildung von Salzkristallen möglich. Während Metalle für gewöhnlich als Karbonate, Hydrogenkarbonate, Hydroxide, Sulfide, Phosphate, Sulfate, Fluoride etc. auskristallisiert werden, werden Anionen im Allgemeinen als Calciumsalze entfernt [cww/tm/97].

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Durchflussmenge	0,1 – 10000 m^3/h
Schadstoffgehalt	10 mg/l –100 g/l
Rückhaltevermögen	Bis zu 100 kg Metall/Anion pro Stunde und Anlage

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Kompakte und flexible Anlagen, deshalb modulare Bauweise und maßgeschneiderte Auswahl der Materialien möglich. • Keine Entstehung von Schlamm. • Wasserfreie Kristalle hoher Reinheit, welche ein Recycling oder eine weitere Verwendung der enthaltenen Metalle in anderen Bereichen ermöglicht. • Rohstoffrückgewinnung/ -rückführung. • Nahezu abfallfreies Verfahren.	• Nur anwendbar bei ionischen Inhaltsstoffen, die unlösliche oder schwer lösliche Salze bilden. • Reagenzien auf nicht gefährliche Stoffe beschränkt. • Der Gesamtsalzgehalt des Abwassers wird nicht verringert.

Erreichbare Emissionswerte / Eliminationsgrade

Der Hauptzweck der Kristallisation ist die Verminderung oder Rückgewinnung von Schwermetallen. Erreichbare Ablaufwerte sind:

Parameter	Emissionswert [mg/l]	Agens	Bemerkungen
Zink	1 [1]	Soda, Natronlauge	Zulauf 50-250 mg/l, pH 10
Nickel	1 [1]	Soda, Natronlauge	Zulauf 50-250 mg/l oder 1000 mg/l, pH 10
Tellur	1 [1]	Mangansulfat, Natronlauge	pH 9, nach Filtration
Aluminium	20 [1]	Sulfat, Natronlauge	Zulauf 50-40 mg/l

[1] [cww/tm/97]

Medienübergreifende Wirkungen

Um gute Eliminationsergebnisse zu erhalten, werden normalerweise die zur Bildung der Niederschläge notwendigen Reagenzien überdosiert. Dies bedeutet, dass die Entfernung einer Substanz die Zugabe einer anderen, im ursprünglichen Abwasserstrom nicht enthaltenen Verbindung, zur Folge hat.

Da die ausgefällten Salze an den Kristallen anhaften, entsteht normalerweise kein Schlamm. Sie sind nahezu frei von Verunreinigungen. Ihr Feuchtigkeitsgehalt beträgt nach atmosphärischer Trocknung nur bis zu 5–10 % [cww/tm/97]. Die Kristalle können deshalb genutzt werden, um die abgetrennten Schadstoffe zurückzugewinnen.

Pumpen sind Lärmquellen, welche zur Lärmminderung eingehaust werden müssen.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Kristallisationschemikalien	
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Wichtige Überwachungsparameter sind:

- Wassermenge, um das Fliessbett aufrecht zu erhalten,
- Konzentration/ Fracht der betreffenden Metalle oder Anionen im Zulauf,
- die Dosierung des Reagens, um die optimalen Bedingungen für die Kristallisation aufrecht zu erhalten,
- pH-Wert, aus dem selben Grund,
- die Konzentration der Metalle oder Anionen im Ablauf des Abwassers.

Ökonomische Daten

Die ökonomische Situation ist [cww/tm/97]:

Kostenart	Kosten [a] [USD/kg]	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten:		
Abschreibung	3–25	abhängig von Kapazität
Chemikalien	0,50–2,50	abhängig von Konzentration
Energie	0,25	
Personal		1 Stunde pro Tag
Wartung		3-5 % der Investition
Nutzen:		
Wiederverwendung	0–14,50	abhängig vom Anion oder Metall
Verringerung des chemischen Abfalls	2–8	abhängig von Konzentration im Schlamm
Verringerung von Betriebskosten für die Fällung	0,50–3	Im Falle von Vorbehandlung
Ersparnis von Investition für eine Fällungsanlage	3–12	Im Falle einer abschließenden Behandlung
Verringerung der Abwassergebühr	30-40	Im Falle einer abschließenden Behandlung

[a] pro kg rückgewonnenem Anion oder Metall

3.3.4.2.3 Chemische Oxidation

Beschreibung

Bei der chemischen Oxidation werden Schadstoffe durch andere chemische Oxidationsmittel als Sauerstoff/ Luft oder Bakterien zu ähnlichen, aber weniger schädlichen oder weniger gefährlichen Verbindungen und/oder zu kurzkettigen und biologisch leicht abbaubaren organischen Verbindungen umgewandelt. Chemische Oxidationsmittel sind z. B.:

- Chlor,
- Natrium- oder Calciumhypochlorit,
- Chlordioxid,
- Ozon (mit oder ohne UV-Bestrahlung),
- Wasserstoffperoxid / UV-Bestrahlung,
- Wasserstoffperoxid / Eisensalze (Fenton's Reagenz).

Häufig für die chemische Oxidation eingesetzte Verfahren sind:

- Oxidation mit Ozon,
- Oxidation mit Wasserstoffperoxid,
- Oxidation mit Ozon / UV-Bestrahlung,
- Oxidation mit Wasserstoffperoxid / UV-Bestrahlung,
- Oxidation mit Ozon, Wasserstoffperoxid und UV-Bestrahlung,
- Oxidation mit Chlor, Hypochlorit.

Die Konstruktion eines Oxidationsreaktors hängt von seinem speziellen Einsatzzweck ab:

- Oxidationsverfahren werden normalerweise bei Drücken bis zu 0.5 MPa betrieben [cww/tm/82]. Abhängig davon, ob UV-Bestrahlung zur Beschleunigung eingesetzt wird, muss der Reaktor mit einer Strahlungsquelle ausgerüstet sein, z. B. einer Niederdruck-Quecksilberlampe. In diesem Fall besteht der Reaktor für gewöhnlich aus für UV-Strahlen durchlässigen Quarzröhren, die das Abwasser einschließen und den UV-Lampen außerhalb, oder den UV-Lampen innerhalb der Quarzröhren, die vom Abwasser umgeben sind.

- Falls bei dem Verfahren Ozon eingesetzt wird, ist ein Ozongenerator Teil der Anlagenausrüstung, da Ozon als nicht stabile Verbindung nicht transportiert werden kann und in situ erzeugt werden muss. Nach der Behandlung muss überschüssiges Ozon eliminiert werden. Die Sicherheitsanforderungen zum Umgang mit Ozon sind streng.

- Bei Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel ist ein GAK-Adsorber (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.9) notwendig, um das überschüssige Oxidationsmittel zu entfernen.

- Die Anwendung von Chlor erfordert eine spezielle Ausrüstung, wie Behälter aus Titan. Zur Entfernung von überschüssigem Chlor oder Hypochlorit, z. B. mit Sulfit, sollten zusätzliche Anlagen zur Verfügung stehen.

Für die Lagerung der Oxidationsmittel sollten Anlagen zur Verfügung stehen, die das Gefährdungspotential dieser Stoffe berücksichtigen.

Anwendung

Chemische Oxidation wird für gewöhnlich eingesetzt, wenn das Abwasser Verunreinigungen enthält, die nicht leicht biologisch abbaubar oder überhaupt nicht biologisch abbaubar sind (z. B. anorganische Inhaltsstoffe), welche die biologischen oder physikalisch-chemischen Verfahren einer nachgeschalteten AWBA stören oder schädliche Eigenschaften haben, die eine Einleitung in eine gemeinsame Abwasserkanalisation nicht zulassen. Beispiele solcher Verunreinigungen sind:

- Öl und Fette,
- Phenole,
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs),
- organische Halogene,
- Farbstoffe (mit Fenton's Reagenz),
- Pestizide,
- Cyanide,
- Sulfide,
- Sulfite,
- Schwermetallkomplexe.

Einige dieser Verunreinigungen sind im gewissen Maße biologisch abbaubar und können alternativ hierzu mit speziell adaptierten Mikroorganismen behandelt werden. In diesen Fällen hängt es von der örtlichen Situation ab, ob die chemische Oxidation der biologischen Oxidation vorgezogen wird. Handelt es sich um kleine Abwassermengen oder ist am Standort keine biologische Behandlung verfügbar, kann die chemische Oxidation eine empfehlenswerte Behandlungsoption gegenüber dem Bau einer zentralen biologischen AWBA sein.

Oxidationsreaktionen mit aktivem Sauerstoff (Ozon, Wasserstoffperoxid), häufig unterstützt durch UV-Bestrahlung, werden z. B. eingesetzt um Deponiesickerwässer zu behandeln oder um refraktären CSB, geruchsintensive Inhaltsstoffe oder Farbpigmente zu entfernen.

Oxidation mit Chlor oder Natriumchlorit kann unter speziellen Bedingungen eingesetzt werden, um organische Verunreinigungen und sogar organische Halogene zu entfernen. Ein Beispiel ist das SOLOX®-Verfahren zur Elimination von CSB/TOC und AOX (bei erhöhten Drücken und Temperaturen) im Abwasser, das bei der Herstellung von Epichlorhydrin anfällt. Der Einsatz von Chlor, Hypochlorit und Chlorit (oder der entsprechenden Halogenverbindungen) muss aber wegen der Gefahr der Bildung organischer Halogene aus den organischen Inhaltstoffen des Abwasserstroms in jedem Fall sorgfältig untersucht werden.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
UV-Bestrahlung	• Starke Trübung führt zu schlechter Durchlässigkeit für UV • Der Ammoniumgehalt muss gering sein, da er mit den organischen Stoffen um den Verbrauch von Radikalen konkurriert [cww/tm/27] • Stoffe, die zu Fouling neigen, verringern die (Licht-)Ausbeute • unvollständige Oxidation oder Bildung von Zwischenprodukten als Verunreinigungen können die Effektivität des Verfahrens behindern

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Abwasser mit refraktären CSB-Konzentrationen in einem Bereich von einigen g/l bis hinab zu weniger als 1 µg/l kann behandelt werden [cww/tm/77]. • Anorganische Stoffe können behandelt werden. • Kann mit starken Schwankungen zurechtkommen. • Geringe Verweilzeit und deshalb geringes Tankvolumen erforderlich (Oxidation mit H_2O_2 verläuft bei atmosphärischem Druck und Raumtemperatur innerhalb 60–90 Minuten [cww/tm/132]) • Zum Erreichen optimaler Ergebnisse kann das Verfahren mit jedem anderen (GAC-Adsorption, Strippung, Belebtschlammbiologie) kombiniert werden.	• Hoher Energieverbrauch: Ozonerzeugung, UV-Erzeugung, Druck und Aufheizen für Oxidation mit Chlor. • Hohe Anforderungen an den Zulauf. • Werden Halogenverbindungen als Oxidationsmittel eingesetzt, ist Entstehung von organischen Halogenen (AOX) möglich.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Die CSB-Elimination mit Wasserstoffperoxid als Oxidationsmittel für verschiedene organische Stoffe als Funktion der Wasserstoffperoxid-Ausnutzung ist in Tabelle 3.4 dargestellt.

Stoff	Dosierung H_2O_2 / CSB [%] [a]	CSB-Elimination [%] [b]	H_2O_2- Ausnutzung [%]
Morpholin	100	20	20
2-Aminoethanol	100	37	37
Diethylenglykol	100	45	45
Polyethylenglykol	100	35	35
Hexamethylentetramin	100	32	32
2,4-Difluor-5-chlor-6-methylpyrimidin	100	30	30
Phenyltrifluorethylcarbamid	80	75	94
Ammonium-trifluorthyldithiocarbamat	80	79	99

[a] Prozentsatz der stöchiometrischen Menge
[b] Prozentsatz des Anfangswertes

Tabelle 3.4: CSB-Elimination verschiedener Stoffe als Funktion der H_2O_2-Ausnutzung [cww/tm/132]

Weitere erreichbare Eliminationsgrade sind:

Parameter	Elimination [%]	Oxidationsmittel	Bemerkungen
TOC	>90 [1]	Chlor / Hypochlorit	Zulauf etwa 1 g/l TOC
AOX	80 [1]	Chlor / Hypochlorit	Zulauf etwa 40 mg/l AOX
Öl			
Phenol			
PAK			
Cyanid			
Sulfid			
Sulfit			
[1] [cww/tm/82], SOLOX-Verfahren			

Wird Abwasser mit refraktären organischen Inhaltsstoffen behandelt, besteht das Hauptziel darin, diese Komponenten in leichter abbaubare / weniger schädliche Verbindungen zu spalten. Bei Berücksichtigung dieser Tatsache ist nicht die Eliminationsrate des Oxidationsverfahrens selbst, sondern die insgesamt, im Zusammenwirken mit vorangegangenen und nachfolgenden Behandlungsverfahren erreichte Verringerung dieser Verunreinigungen der praxisgerechteste Leistungsnachweis.

Medienübergreifende Wirkungen

Während die Oxidation mit Ozon und/oder Wasserstoffperoxid normalerweise zu keinem Verlagerungsproblem vom Wasser in die Luft und/oder auf die Entsorgungsseite führt, muss der Einsatz von Chlor oder Hypochlorit für jede Anwendung kritisch überprüft werden. Wie bereits erwähnt, können Chlor und Hypochlorit - im Gegensatz zu dem Beispiel des SOLOX-Verfahrens - zur Bildung chlorierter organischer Verbindungen führen, die schwer abbaubar und/oder toxisch sind. Dies kann auch bei Abwasser beobachtet werden, das mit organischen Verbindungen befrachtet ist und mit anderen Strömen gemischt wird, die überschüssiges Hypochlorit aus vorangehenden Oxidationsschritten enthalten. Das mittels Oxidation mit Chlor behandelte Abwasser muss von überschüssigem Chlor oder Hypochlorit befreit werden, bevor es in eine Hauptkanalisation eingeleitet wird.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Oxidationsmittel	
Agens zur Zerstörung des überschüssigen Oxidationsmittels	
Energie [kWh/m^3]	
für Ozon-Herstellung [kWh/kg O_3]	9-12 (1-3 Masse-% Ozon aus Sauerstoff; doppelter Wert bei Luft)

Überwachung

Während des Oxidationsprozesses ist eine gründliche Überwachung der Betriebsparameter wesentlich, z. B. von:

- pH-Wert,
- Redoxpotential,
- Ozon-Konzentration (Ozon-Konzentrationen von 15-20 % sind in Luft sehr instabil und neigen zur Zersetzung [cww/tm/27]),
- Sauerstoffkonzentration (aus Sicherheitsgründen),
- Gehalt des überschüssigen Oxidationsmittels im Ablauf,
- AOX-Gehalt im Ablauf, falls Oxidationsmittel auf Chlorbasis eingesetzt werden.

Ökonomische Daten

Wenn hohe Konzentrationen von Verunreinigungen zu erwarten sind, ist die chemische Oxidation nicht kosteneffizient zu betreiben, da große Mengen an Oxidationsmitteln benötigt werden. Fortschrittliche Oxidationsverfahren wie:

- UV/ Wasserstoffperoxid,
- UV/ Ozon,
- UV/ Wasserstoffperoxid/ Ozon,

ziehen hohe Kapital- und Betriebskosten nach sich und erfordern eine über bestrahlungsfreie Verfahren hinausgehende Abwasservorbehandlung.

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.4 Nassoxidation

Beschreibung

Nassoxidation ist eine Reaktion mit Sauerstoff in wässriger Phase bei hohen Drücken und Temperaturen. Die Reaktion findet häufig in Gegenwart von Katalysatoren statt. In Abhängigkeit von den Abwasserinhaltsstoffen entstehen folgende Reaktionsprodukte:

- Kohlenmonoxid aus organischen Inhaltsstoffen,
- Kohlendioxid aus organischen Inhaltsstoffen,
- Wasser aus organischen Inhaltsstoffen,
- Stickstoff aus Hydrazin oder, wenn ein Katalysator eingesetzt wird, aus Ammoniak / Ammonium- und N-haltigen organischen Stoffen,
- Nitrat aus Nitrit und N-haltigen organischen Stoffen,
- Ammonium, in Abwesenheit eines Katalysators,
- Chlorwasserstoff bzw. Chlorid aus organischen Chlorverbindungen,
- Sulfat aus Sulfid, Sulfit und Thiocyanaten,
- Phosphat aus phosphorhaltigen Verbindungen.

Für eine bessere Beurteilung des potentiellen Anwendungsbereiches der Nassoxidation hat es sich als vorteilhaft erwiesen, zwei Verfahrensvarianten mit unterschiedlichen Reaktionsbedingungen zu entwickeln:

- Niedrigdruck-Nassoxidation,
- Hochdruck-Nassoxidation.

Mit den entsprechenden Temperatur- und Druckunterschieden sind auch wichtige Unterschiede bei den verfahrenstechnischen Faktoren, den Anforderungen an Material und der Anlagensicherheit verbunden [cww/tm/132].

Typische Verfahrensbedingungen der beiden Varianten sind:

	Niederdruck	Hochdruck
Temperaturbereich [°C]	30–200	150–340
Druckbereich [MPa]	0,5–2	>2
Verweilzeit [h]	0,5–3	0,5-3

Ausrüstung und Konstruktion des Niederdrucknassoxidationsverfahrens bestehen aus [cww/tm/51]:

- einem dem angewandten Druck und der Temperatur entsprechenden Reaktionsbehälter, z. B.
  - einer ohne mechanisches Mischen gut durchmischten senkrechten Blasensäule,
  - einem aus in Reihe geschalteten gerührten Bereichen bestehenden horizontalen Reaktor,
  - einem Tiefschachtreaktor (vgl. Abbildung 3.44),
  - einem Festbettreaktor mit Katalysator,
- einer Hochdruckpumpe für die Abwasser- oder Schlammförderung,
- einem Kompressor zur Luft/Sauerstoffversorgung,
- einem gas/flüssig-Separator,
- druckmindernden Ventilen,
- einem Wärmetauscher mit Einrichtungen zur Vorwärmung des Abwasserzulaufs.

Die Materialanforderungen für die heißen Teile der Anlage sind sehr hoch. Für Temperaturen < 160 °C müssen geeignete Anlagen emailliert oder mit PTFE ausgekleidet sein. Metallische Bereiche, die bei Temperaturen bis zu 200 °C betrieben werden, müssen aus Titan oder seinen Legierungen mit Palladium gefertigt sein. Bei der Hochdruckvariante machen die Materialanforderungen spezielle Titanlegierungen für die beheizten Bereiche und Chlorid-resistentem rostfreiem Stahl für die kalten Bereiche erforderlich [cww/tm/132].

Ein Beispiel eines Niederdrucknassoxidationsverfahrens zeigt Abbildung 3.22.

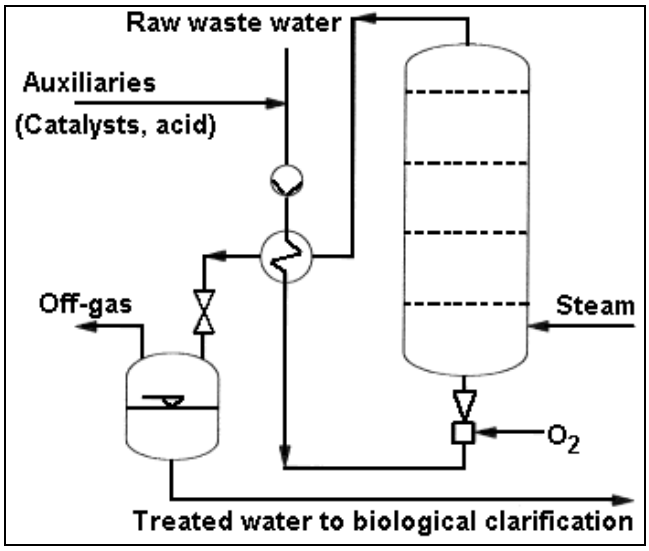

Abbildung 3.22: Fliessbild einer Loprox-Anlage
betrieben bei 120 – 200 °C und 0,3 – 2,0 MPa mit einer Verweilzeit < 3 h [cww/tm/132]
Auxiliaries (Catalysts, acid) = Hilfsstoffe (Katalysatoren, Säuren); Off-gas = Abgas; Raw waste water = Rohabwasser; Steam = Dampf; Treated water to clarification = vorbehandeltes Abwasser zur biologischen Klärung

Anwendung

Nassoxidation wird bei Abwasser eingesetzt, das Verunreinigungen enthält, die entweder nicht biologisch leicht abbaubar sind, oder die biologischen Verfahren einer nachgeschalteten biologischen Abwasserbehandlungsanlagen stören, oder zu schädliche Eigenschaften haben, um sie in ein gewöhnliches Kanalisationssystem einleiten zu können. Sie wird auch zur Schlammbehandlung eingesetzt (vgl. Abschnitt 3.4). Für diese Technik kommen z. B. bevorzugt folgende Stoffe in Betracht:

- Nitrit, das in einem einstufigen Verfahren bei 30–50 ºC zu Nitrat umgewandelt wird,
- Sulfit aus der Herstellung von Farbstoffen, welches in einem zweistufigen homogen katalysierten Verfahren bei 120-140 ºC und 0,6 MPa [cww/tm/132] in Sulfat umgewandelt wird,
- Phenol und Naphtholderivate, die bei 120–150 ºC umgewandelt werden,
- chlorierte Aromaten, die in einem katalysierten Verfahren bei 120–190 ºC umgewandelt werden,

bei der Niederdruckvariante, und

- organische Nitro-Verbindungen, die zu Stickstoff umgewandelt werden,
- organische Amino-Verbindungen oder Aromaten, die Stickstoffheteroatome enthalten und zu Ammoniak umgewandelt werden,
- organische Schwefel-Verbindungen, die zu Sulfat umgewandelt werden,
- organische Phosphor-Verbindungen, die Phosphat zu umgewandelt werden,
- chlorierte organische Verbindungen, die zu Salzsäure umgewandelt werden,

bei der Hochdruckvariante.

Beispiele für Herstellungsverfahren, bei denen die Nassoxidation eingesetzt wird, sind z. B. [cww/tm/160]:

- Herstellung von Farbstoffen und Zwischenprodukten,
- Oxidation aromatischer Sulfonate,
- Herstellung von Phenol- oder Naphtholderivaten,
- Herstellung aromatischer Kohlenwasserstoffe.

Ist die Abwassermenge zu gering, um eine solche Anlage zu rechtfertigen oder steht keine biologische Behandlung zur Verfügung, kann die Nassoxidation auch eine zentrale biologische Abwasserbehandlungsanlage ersetzen.

Anwendungsgrenzen and Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Schadstoff-Konzentration	• Für niedrige CSB-Konzentrationen nicht vorteilhaft; empfehlenswert für CSB-Konzentrationen zwischen 5000 und 50000 mg/l [cww/tm/160], Konzentrationen zwischen 6000 und 8000 mg/l sind autotherm [cww/tm/132] • Konzentrationen über 100000 mg/l erfordern Verdünnung [cww/tm/27] • Bei der Hochdruckvariante sind CSB-Konzentrationen über 50000 mg/l erforderlich, um den für das Verfahren erforderlichen Gesamtenergiebedarf zu decken [cww/tm/132] • Fluorid-Konzentrationen < 10 mg/l (Niederdruckvariante) [cww/tm/160], höhere Konzentrationen erfordern Vorbehandlung, z. B. Fällung mit Calciumsalzen und nachfolgender Filtration; < 5 mg/l (Hochdruckvariante) [cww/tm/160] • Fluorid-Konzentrationen, die dem Löslichkeitsprodukt von Calciumfluorid entsprechen, reichen aus, um Korrosion bei pH < 5 zu verursachen (Hochdruckvariante) [cww/tm/132] • Salzfrachten müssen, zumindest bei der Hochdruckvariante, wegen Korrosion so weit möglich minimiert werden [cww/tm/82], z. B. [cww/tm/160]: Salze < 150 g/l, Chlorid < 50 g/l, Phosphat < 400 mg/l, NH_4-N < 2.5 mg/l, Ca, Fe, Al, Cu < 100 mg/l.
Abwasser-schwankungen	Abwasser muss gesammelt und vor den Oxidationsanlagen vergleichmäßigt werden

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Abwasser mit relativ hohen refraktären CSB-Konzentrationen kann behandelt werden. • Anorganische Verunreinigungen können entweder eliminiert oder in weniger gefährliche Stoffe umgewandelt werden. • Kann mit anderen Behandlungsverfahren kombiniert werden.	• Es können Dioxine entstehen [cww/tm/82].

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Wenn das Hauptziel darin besteht, refraktäre organische Inhaltsstoffe und/oder für die nachfolgende biologische Behandlung hemmende Stoffen zu eliminieren, wird dies für gewöhnlich in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt:

- die refraktären Verbindungen in kurzkettige oder leicht abbaubare Verbindungen spalten
- danach dieses Abwasser einer nachgeschalteten (zentralen) biologischen AWBA zuleiten.

Die Leistungsfähigkeit ist deshalb nicht alleine anhand des Wirkungsgrades des Oxidationsverfahrens zu bewerten, sondern es muss auch die Leistung der nachfolgenden biologischen Verfahren berücksichtigt werden.

Für die Niederdruckvariante werden die folgenden Daten berichtet:

Parameter	Elimination	Bemerkungen
CSB	60–90 % [1]	Beispiel: 85 % Minderung durch Nassoxidation (190 °C, 2 MPa), gefolgt durch 90 % Minderung in der biologischen Klärstufe, insgesamt 98 % CSB-Minderung [3]
	50 % [2]	90 % nach biologischer Behandlung
AOX	60 – >90 [1,3]	Reaktionstemperatur von 190 °C
BSB/CSB	Erhöhung 0,1 auf 0,5 [3]	Reaktionstemperatur von 190 °C
Natriumsulfid	<1 mg/l [4]	anfängliche Konzentration 30 g/l, 160 °C, 0,9 MPa

[1] [cww/tm/82]
[2] [cww/tm/160]
[3] [cww/tm/132]
[4] [cww/tm/149]

Für die Hochdruckvariante werden die folgenden Daten berichtet:

Parameter	Elimination [%]	Bemerkungen
CSB	99 [1]	anfängliche Konzentration 30 g/l, 250 °C, 7 MPa
TOC	95 [2]	280 °C, 12 MPa
AOX	80 [2]	280 °C, 12 MPa
Aromatische Amine	76–83 [3]	anfänglich TOC 14,6 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Stickstoffhaltige Heterozyklen	77–92 [3]	anfänglich TOC 1,1-14.3 g/l, pH 1,1-10, 280-300 °C
Azo-Verbindungen	97–99 [3]	anfänglich TOC 13,1 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Nitrosulfonsäuren	76–84 [3]	anfänglich TOC 14,0 g/l, pH 1,5-10, 280-300 °C
Sauerstoffhaltige Heterozyklen	80–87 [3]	anfänglich TOC 52 g/l, pH 11,5, 280-300 °C
Cl-haltige Sulfonsäuren	90–93 [3]	anfänglich TOC 3,5 g/l, pH 1,6, 280-300 °C
Aminosulfonsäuren	80–88 [3]	anfänglich TOC 20-24 g/l, pH 1,4-2,2, 280-300 °C
Aminopolysulfonsäuren	64–65 [3]	anfänglich TOC 47,6 g/l, pH 0,5, 280-300 °C
Nitro-Verbindungen	93–94 [3]	anfänglich TOC 6 g/l, pH 9,3, 280-300 °C
Sauerstoffhaltige Verbindungen	75–81 [3]	anfänglich TOC 9,2 g/l, pH 2,2, 280-300 °C
Mischabwasser	77–81 [3]	anfänglich TOC 11,4 g/l, pH 1,9, 280-300 °C

[1] [cww/tm/149]
[2] [cww/tm/160]
[3] [cww/tm/132]

Als Beispiel einer Anwendung der Hochdruck-Nassoxidation bei niedrigen TOC-Konzentrationen wird über die Entfernung von Pestiziden berichtet [cww/tm/27]:

Schadstoffe	Zulauf-Konzentration [µg/l]	Ablauf-Konzentration [µg/l]	Bemerkungen
Aldrin	500	<50	
DDT	21000	<300	
Endosulfan	18400	291	
Endrin	3600	<100	
2,4-Dichlorphenol	180	<3;1	

Medienübergreifende Wirkungen

Unter ungünstigen Bedingungen kann eine Bildung oder Rückbildung von Dioxinen erfolgen, so dass für die Rückstande eine weitere Behandlung erforderlich sein kann. Die Emissionen dieses Verfahrens – wässrige und Abgase (Kohlenmonoxid, niedrige Kohlenwasserstoffe) – müssen einer nachgeschalteten Behandlung unterzogen werden, z. B. biologische Behandlung, Adsorption oder Strippung des Abwassers und Wäsche, Biofiltration oder thermische/katalytische Oxidation des Abgases.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Luft, Sauerstoff	
Energie [kWh/m^3]	

Der Energieverbrauch ist von der TOC-Fracht abhängig. Wenn der TOC-Gehalt den autothermen Bereich überschreitet, kann die erzeugte Wärme mit Hilfe eingebauter Wärmetauscher genutzt werden.

Überwachung

Um eine fehlerfreie Arbeitsweise zu garantieren, ist während des gesamten Verfahrensablaufes eine gründliche Überwachung der betrieblichen Parameter, wie Druck, Temperatur und Sauerstoffgehalt wichtig.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten	5/m^3 DM [1]	bei 100 °C
	20–40 DM /m^3 [1]	bei 200 °C
	1,5/kg EUR TOC [2]	

[1] [cww/tm/132]
[2] [cww/tm/160]

3.3.4.2.5 Oxidation mit überkritischem Wasser (SCWO)

Beschreibung

SCWO ist eine spezielle Anwendung der Hochdruckvariante der Nassoxidation (vgl. Kapitel 3.3.4.2.4). Die Oxidationsreaktion findet im überkritischen Bereich des Wassers statt, d. h. Temperaturen über 374 °C und Drücken über 22,1 MPa. Das Verfahren ist in Abbildung 3.23 dargestellt.

Das Abwasser wird durch eine Hochdruckpumpe auf den überkritischen Druck gebracht, bevor es in den Vorwärmer eintritt, wo der Zulauf durch den Ablauf des Reaktors vorgewärmt wird. Beim Anfahren oder wenn die organische Konzentration des Abwassers weniger als 4 % beträgt, muss der Zulauf weiter erwärmt werden, um den überkritischen Temperaturbereich zu erreichen. Wenn dem Zulauf Sauerstoff zugefügt wird, steigt die Temperatur im Reaktor auf über 600 °C an.

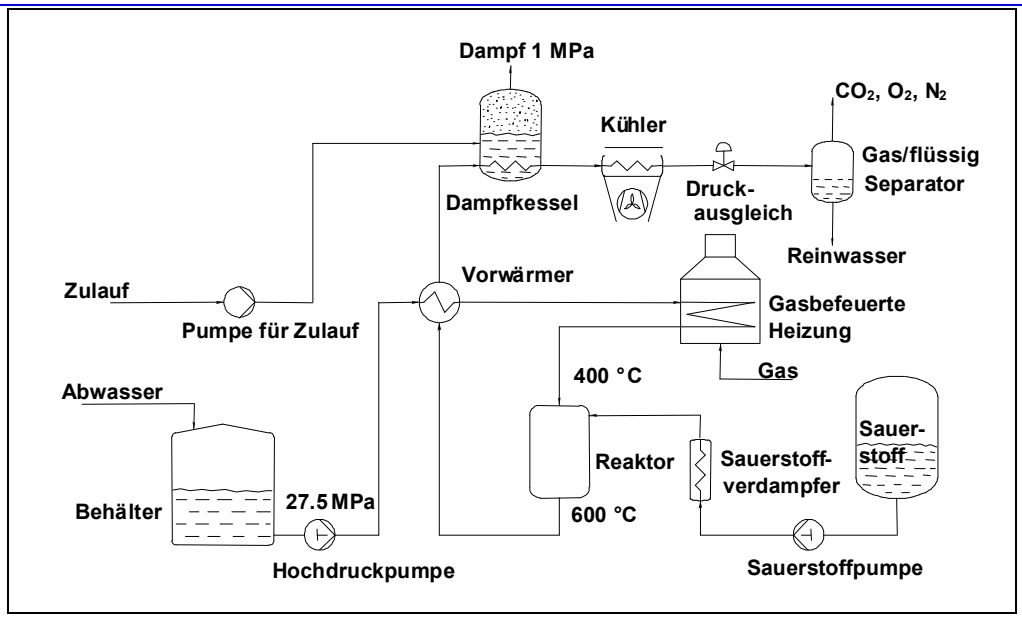

Abbildung 3.23: Vereinfachtes Fliessbild des SCWO-Verfahrens

Der Zulauf des Reaktors gelangt in den Vorwärmer, dann durch einen Dampfgenerator zur Wärmerückgewinnung und durch einen Ablaufkühler. Schließlich mindert ein Regelventil den Druck des Ablaufs auf atmosphärische Bedingungen und die Flüssig- und die Gasphase werden getrennt.

Die organischen Abwasserinhaltsstoffe werden zu Kohlendioxid, Wasser and Stickstoff abgebaut.

Merkmale der SCWO sind:

- vollständige Löslichkeit organischer Verbindungen in überkritischem Wasser,
- vollständige Fällung anorganischer Feststoffe, wie Salze,
- Reaktionszeit für die vollständige Zerstörung zwischen 30 und 60 Sekunden, stark abhängig von der Reaktionstemperatur,
- Reaktion bei etwa 25 MPa und 400–600 °C,
- vollständige Umwandlung der organischen Inhaltsstoffe, wobei
  - organischer Kohlenstoff zu Kohlendioxid umgewandelt wird,
  - organische und anorganische Stickstoffverbindungen zu Stickstoff umgewandelt werden,
  - organische and anorganische Halogene zu den entsprechenden Säuren umgewandelt werden,
  - organische und anorganische Schwefelverbindungen zu Schwefelsäure umgewandelt werden,
- Zerstörung flüchtiger Feststoffe,
- Oxidation von Schwermetallen zu ihrem höchsten Oxidationszustand,
- Abtrennung aller Inertstoffe als feine, nicht auslaugbare Asche.

<u>Anwendung</u>

SCWO wird in der chemischen, petrochemischen and pharmazeutischen Industrie bei Verunreinigungen eingesetzt, welche eine geringe biologische Abbaubarkeit und/oder hohe Toxizität haben. Sie zerstört auch Dioxine und PCB, während der relativ niedrige Temperaturbereich von 400–600 °C die Entstehung von NO_x (d. h. Stickstoffoxide, ausgenommen N_2O) unwahrscheinlich macht.

Ein weiterer Anwendungsbereich für SCWO ist die Behandlung industrieller und kommunaler Schlämme, zur Zerstörung toxischer organischer Verbindungen, einschließlich Dioxine.

Vorteile / Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Alle organischen Inhaltsstoffe, unabhängig von ihren Eigenschaften, werden zerstört. • Bei relativ niedrigen Temperaturen werden sehr hohe Wirksamkeiten bzgl. der Zerstörung erreicht, was zu NO_x-freien Emissionen führt. • Es entstehen keine Dioxine. • Sehr kurze Reaktionszeit erforderlich, führt zu kurzer Verweilzeit und deshalb zu geringem Reaktorvolumen. • Kann mit anderen nachgeschalteten Behandlungsanlagen kombiniert werden.	• Wahrscheinlich werden Spuren von Lachgas (N_2O) und Essigsäure gefunden. • Anorganische Feststoffe fallen aus und können Korrosion verursachen.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Bemerkungen
Organische Verbindungen	>99	
1,2,4-Trichlorbenzol	99,99 [1]	495 °C, 3,6 min
4,4-Dichlorbiphenyl	>99,99 [1]	500 °C, 4,4 min
DDT	>99,99 [1]	505 °C, 3,7 min
PCB 1234	99,99 [1]	510 °C, 3,7 min
PCB 1254	99,99 [1]	510 °C, 3,7 min
Dioxin	>99,99 [1]	574 °C, 3,7 min
[1] [cww/tm/27]		

Medienübergreifende Wirkungen

Abhängig vom zulaufenden Abwasser enthält das Abgas Spuren beim Verfahren entstehender Essigsäure und Lachgas, aber als Abbauprodukt organischer Halogene auch Halogenwasserstoffe, welche in nachgeschalteten Abgasbehandlungsanlagen behandelt werden müssen. Anorganische Feststoffe müssen, falls sie nicht zurückgeführt oder anderweitig eingesetzt werden können, eingeleitet werden.

Wegen der Druckerzeugung stellt die Anlage eine Lärmquelle dar. Zur Lärmminderung müssen die Anlagenteile geschlossen sein.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Luft, Sauerstoff	
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Durch eine gründliche Überwachung der betrieblichen Parameter, wie Druck, Temperatur und Sauerstoffgehalt, werden während des gesamten Prozessablaufes Information über eine fehlerfreie Arbeitsweise erhalten.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.6 Chemische Reduktion

Beschreibung

Bei der chemischen Reduktion werden Schadstoffe durch chemische Reduktionsmittel zu ähnlichen, aber weniger schädlichen oder gefährlichen Verbindungen umgewandelt. Übliche chemische Reduktionsmittel sind z. B.:

- Schwefeldioxid,
- Natriumhydrogensulfit/metabisulfit,
- Eisen(II)sulfat,
- Natriumsulfid und Natriumhydrogensulfid,
- Harnstoff oder Amidosulfonsäure (bei niedrigem pH-Wert).

Sie werden bei geeignetem pH-Wert und Konzentrationsbedingungen mit den Abwasserinhaltsstoffen in Kontakt gebracht. Chemische Reduktion führt normalerweise zu Produkten, die in nachgeschalteten Behandlungsanlagen, wie chemischer Fällung, besser behandelt werden können.

Die Bauweise des Behandlungsreaktors hängt vom speziellen Einsatzzweck ab. Die grundlegende Anlage besteht aus einem auf die Anforderungen des Verfahrens maßgeschneiderten, kontinuierlich betriebenen Rührkesselreaktor (CSTR), z. B. aus korrosions- und druckunempfindlichen Materialien bzw. Kapselung und Ableitungen für entstehende Gase. Zur Elimination des überschüssigen Reduktionsmittels, z. B. für Hypochlorit oder Wasserstoffperoxid zur Oxidation von Sulfit zum Sulfat, sollten zusätzliche Einrichtungen zur Verfügung stehen. Diesem Problem kann durch Änderungen der Bauweise und der Betriebsparameter, z. B. durch Regelung von pH-Wert und Redoxpotential (ORP) begegnet werden. Anlagen zur chemischen Reduktion müssen nicht besonders ausgefeilt und teuer sein. Wo kontinuierliche/ automatische Betriebsweise erforderlich ist, können die Investitionskosten höher sein, werden aber gewöhnlich durch geringere Betriebskosten kompensiert. Das Verfahren wird in voll automatisierten Anlagen betrieben, indem ein stellvertretender Leitparameter, typischerweise das Redoxpotential, überwacht wird.

Zur Lagerung der Reduktionsmittel müssen Anlagen zur Verfügung stehen, die das Gefährdungspotentials dieser Stoffe berücksichtigen.

Anwendung

Die chemische Reduktion wird bei Abwasser eingesetzt, das Verunreinigungen enthält, die entweder nicht biologisch leicht abbaubar sind oder zu schädliche Eigenschaften haben, um sie in ein gewöhnliches Kanalisationssystem einleiten zu können. Die Zielschadstoffe sind anorganische Verbindungen, bei organischen Verbindungen ist das Verfahren weniger effektiv.

Beispiele solcher Verunreinigungen sind:

- Chrom(VI), welches zu Chrom(III) reduziert wird,
- Chlor oder Hypochlorit, welches zu Chlorid reduziert wird,
- Wasserstoffperoxid, welches zu Wasser und Sauerstoff reduziert wird,
- Nitrit, unter Einsatz von Harnstoff oder Amidosulfonsäure bei niedrigem pH.

Eine häufig in Verbindung mit der chemischen Reduktion betriebene Behandlung ist die chemische Fällung.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Stoffe	Die Anzahl der angreifbaren anorganische Stoffe ist beschränkt
pH, ORP	Wirkungsgrad stark von pH und ORP abhängig, deshalb strenge Kontrolle dieser Parameter wichtig
Reaktionsbedingungen	Gutes Rühren erforderlich

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Abwasser über einen großen Konzentrationsbereich kann behandelt werden (von einigen g/l bis hinab zu weniger als 1 mg/l).	• Häufig Gasbildung; bei Sulfid ist die Bildung von Schwefelwasserstoff möglich.

Erreichbare Emissionswerte / Eliminationsgrade

Die berichteten Eliminationsraten sind sehr hoch.

Parameter	Elimination [%]	Reduktionsmittel	Bemerkungen
Chrom(VI)			
Chlor			
Hypochlorit			
Wasserstoffperoxid			

Medienübergreifende Wirkungen

Es sind keine besonderen Umweltprobleme zu berücksichtigen. Die entstehenden Gase werden gefasst und einer nachgeschalteten Abgasbehandlungsanlage zugeleitet.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Reduktionsmittel	
Chemisches Agens zur Zerstörung von überschüssigem Reaktionsmittel	
Energie [kWh/m^3]	

Der Verbrauch von Reduktionsmittel ist von der Schadstofffracht abhängig. Der Verbrauch von Chemikalien für die Zerstörung des überschüssigen Reaktanten ist von der Qualität der Verfahrensweise abhängig.

Überwachung

Die Reaktion wird durch unabhängige Regelkreise überwacht und geregelt:

- Lauge-/Säure-Zugabe mittels pH-Kontrolle,
- Zugabe des Reduktionsmittels mittels ORP-Kontrolle.

Der Ablauf muss auf überschüssiges Reduktionsmittel überprüft werden.

Ökonomische Daten

Bei hohen Schadstoffkonzentrationen und großen Mengen des Reduktionsmittels kann es möglich sein, dass andere Behandlungstechniken kosteneffektiver sind.

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.7 Hydrolyse

Beschreibung

Bei der Hydrolyse handelt es sich grundsätzlich um eine zerstörende Technik. Es handelt sich um eine chemische Reaktion, bei der organische und anorganische Inhaltsstoffe mit Wasser reagieren und in kleinere Verbindungen gespalten werden. In einigen Fällen läuft die Reaktion weiter und es werden andere Produkte gebildet, für gewöhnlich kurzkettige und leicht abbaubare Verbindungen. Im Allgemeinen ist eine nachgeschaltete Behandlung des hydrolysierten Stroms erforderlich, z. B. in einer zentralen biologischen AWBA.

Die Bauweise eines Hydrolysereaktors hängt vom Einsatzzweck ab. Für gewöhnlich werden Hydrolyseverfahren bei Normaldruck und Raumtemperatur betrieben. Wenn hohe Temperaturen erforderlich sind, muss der Reaktor mit einem Wärmetauscher ausgerüstet sein, um das zulaufende Abwasser vorzuwärmen. In einigen Fällen können Autoklaven erforderlich sein, um Temperaturen deutlich über 100 °C und Drücke bis zu 0,5 – 1 MPa sicher zu stellen. Das Verfahren erfolgt chargenweise und erfordert Personal für das Befüllen und Leeren des Behälters. Falls beim chemischen Abbau der Schadstoffe niedrig siedende Verbindungen entstehen, sollte die Anlage auch mit Vakuumanlagen zur Entfernung von verunreinigten Flüssigkeiten und Dampf ausgerüstet sein und es muss möglich sein, mehrere Temperatur- und Druckzyklen durchzuführen, ohne dass der Behälter geöffnet werden muss.

Da nach durchgeführter Behandlung überschüssige Säure oder Lauge neutralisiert werden muss, müssen zusätzliche Einrichtungen zur Verfügung stehen. Sicherheitsanforderungen für den Umgang mit Säuren und Laugen sind streng. Ihr Einsatz zieht spezielle korrosionsresistente Ausrüstung nach sich.

Für die Lagerung von Säuren und Laugen müssen Einrichtungen zur Verfügung stehen. Dabei ist das Gefährdungspotential dieser Stoffe zu beachten.

Anwendung

Hydrolyse wird bei Abwasserströmen angewandt, die Verunreinigungen enthalten, die biologisch nicht leicht abbaubar sind oder die biologischen Verfahren einer nachgeschalteten biologischen AWBA stören oder schädliche Eigenschaften haben, die es nicht erlauben, sie in ein gewöhnliches Kanalisationssystem einzuleiten. Beispiele solcher Verunreinigungen sind:

- organische Halogene,
- Pestizide,
- organische Cyanide,
- organische Sulfide,
- Organophosphate,
- Carbamate,
- Ester,
- Amide.

Häufig in Verbindung mit der Hydrolyse eingesetzte Verfahren sind:

- chemische Neutralisation,
- chemische Oxidation,
- Fällung.

Die Reaktion ist stark von chemischer Struktur, pH-Wert und Temperatur abhängig:

- Zunahme der Temperatur führt zu erhöhter Hydrolysegeschwindigkeit.
- Niedriger oder hoher pH-Wert kann die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen, abhängig vom Reagenz. Phosphorsäureester und organische Chloride werden z. B. bevorzugt bei alkalischen Bedingungen hydrolysiert.
- Katalysatoren können die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
pH-Wert	entweder saurer oder alkalisch
Temperatur	15–80 °C, unter Druck bis zu 120 °C
Konzentrationsbereich	1 mg/l –100 g/l
Stoffeigenschaften	ungeeignet für Stoffe, die zu drastische Betriebsbedingungen erfordern
Wasserlöslichkeit	geringe Löslichkeit in wässrige Medien kann die Anwendbarkeit begrenzen

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Abwasser in einem breiten Bereich von refraktärem CSB kann behandelt werden. • Verfahren kann mit vielen nachgeschalteten Behandlungsverfahren, wie GAK-Adsorption, Luft/Dampf-Strippung, Belebtschlammbiologie, kombiniert werden.	• Für gewöhnlich ist eine chemische Neutralisation des hydrolysierten Stromes erforderlich, was zu Salzfrachten für den Vorfluter und/oder zusätzlichem zu entsorgenden Schlamm führt. • Gase und Dämpfe können freigesetzt werden. • Häufig hoher Druck und/ oder Heizung erforderlich. Dies führt zu beträchtlichem Energieverbrauch.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Eliminationsraten sind stark von der chemischen Struktur der Verbindungen, dem pH-Wert und der Temperatur abhängig. Quantitativer Abbau kann erreicht werden, wobei Pilotversuche erforderlich sind, um die individuellen Behandlungsbedingungen herauszufinden.

Parameter	Elimination [%]	Reaktionsbedingungen	Bemerkungen
CSB			
AOX			

Da das Hauptziel darin besteht, refraktäre organische Inhaltsstoffe und/oder die nachfolgende biologische Behandlung hemmende Stoffe zu eliminieren, kann die Leistungsfähigkeit nicht alleine anhand des Wirkungsgrades des Hydrolyseverfahrens bewertet werden, sondern es muss auch die Leistung der nachfolgenden biologischen Verfahren berücksichtigt werden.

Medienübergreifende Wirkungen

Hydrolyse mit starken Laugen – NaOH und $Ca(OH)_2$ – oder Säuren – H_2SO_4 – verursacht gewöhnlich keine medienübergreifenden Schadstoffverlagerungen, z. B. von Wasser in Luft und/oder zu entsorgenden Abfall.

Freisetzungen geruchsintensiver und/oder flüchtiger Stoffe werden – falls zu erwarten – für gewöhnlich vermieden, indem die Behälter abgedeckt werden oder in einem geschlossenen Tank gearbeitet und die Abluft einem Abgasbehandlungssystem zugeführt wird.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Chemikalien	
Dampf / Heißwasser für Heizung	
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Während des Hydrolyseverfahrens ist eine sorgfältige Überwachung der Betriebsparameter, wie:

- Temperatur,
- pH-Wert,
- Druck,
- Verweilzeit

wichtig. Der Ablauf sollte auf spezifische Abbauprodukte und überschüssige Säure/Lauge überprüft werden.

Ökonomische Daten

Es fallen folgende Kosten an:

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.8 Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (UO)

Beschreibung

Beim Membranverfahren durchdringt eine Flüssigkeit eine Membran, die dadurch in ein Permeat, welches die Membran durchläuft und ein Konzentrat, das zurückgehalten wird, getrennt wird. Die Druckdifferenz quer zur Membran ist die Triebkraft des Verfahrens.

NF- und UO-Membranen können Teilchen bis hinunter zur Größe organischer Moleküle und sogar Ionen zurückhalten. Diese Membranen werden hauptsächlich eingesetzt, wenn ein vollständiges Recycling des Permeats und/oder des Konzentrates angestrebt wird - vorausgesetzt, der Zulauf ist frei von Partikeln.

Typische Eigenschaften von NF- und UO-Membranen sind in Tabelle 3.5 dargestellt.

Parameter	Nanofiltration	Umkehrosmose
Porendurchmesser [µm] [1]	0,01–0,001	<0,001
Betriebsdruck [MPa]	0,5-3 [2]	2-100 [3]
Abschneidegröße [nm] [2]	>1 200–1000 g/mol	<1000 g/mol
Permeatfluss [l m^{-2} h^{-1}]	<100	10–35
Querstromgeschwindigkeit [m/s] [2]	1-2	<2
Membrantyp	polymer asymmetrisch oder Verbundwerkstoff	polymer asymmetrisch oder Verbundwerkstoff
Membrankonfiguration	spiralförmig rohrförmig	spiralförmig rohrförmig

[1] [cww/tm/27]
[2] [cww/tm/132]
[3] [cww/tm/159]

Tabelle 3.5: Eigenschaften der Nanofiltration (NF) und Umkehrosmose (UO)

Membranen stehen in mehreren Materialien und Konfigurationen zur Verfügung. Da unterschiedliche Materialien unterschiedliche Beständigkeiten gegenüber den gelösten Stoffen haben, hängt die optimale Modifikation für eine bestimmte Anwendung von der Art des Abwassers ab. Membranmaterialien für NF sind z. B.:

- Celluloseacetate,
- Polyamide.

Membranmaterialien für UO sind organische Polymere, wie:

- Celluloseacetate,
- Polyamide,
- Polyimide,
- Polycarbonate,
- Polyvinylchlorid,
- Polysulfone,
- Polyethersulfone,
- Polyacetale,
- Acrylnitril- und Vinylchlorid-Kopolymere,
- Polyelektrolytkomplexe,
- Vernetzte Polyvinylalkohole,
- Polyacrylate.

Hinsichtlich der Entfernung von Spuren organischer Moleküle sind Membranen auf Polyamid-Basis für gewöhnlich Membranen auf Celluloseacetat-Basis überlegen.

NF- und UO-Verfahren werden gewöhnlich im Querstrom betrieben, d. h. der Permeatfluss ist senkrecht zum Zulaufstrom gerichtet. Die Verunreinigungen verbleiben im Zulaufstrom, der, mit verringertem Volumen, als konzentrierter Abfallstrom das Membransystem verlässt.

Falls keine Reinigung gewährleistet ist, werden die Membranen trotz bester Vorbehandlungssysteme und -programme verschmutzen und in ihrer Leistung nachlassen. Membransysteme sind deshalb so aufgebaut, dass die Module außer Betrieb genommen und mechanisch oder chemisch gereinigt werden können.

Eine industrielle Membrananlage besteht für gewöhnlich aus drei separaten Abschnitten:

- dem Bereich der Vorbehandlung, in dem der Zulauf chemisch geklärt wird (Fällung, Koagulation/Flockulation oder Flotation) mit nachfolgender Filtration, oder Filtration mit nachfolgender UF,
- dem Membranbereich, in dem unter hohem Druck gearbeitet wird und das Abwasser im Querstrom der Membran entlang geführt wird,
- dem Bereich der Nachbehandlung, wonach das Permeat für die Wiederverwendung oder die Einleitung bereit ist und die aufkonzentrierte Sole für weitere Aufarbeitung oder Entsorgung gesammelt wird.

In Abbildung 3.24 ist ein Beispiel einer typischen UO-Anordnung dargestellt [cww/tm/4].

Um die erforderliche hydraulische Kapazität zu gewährleisten, sind Membrananlagen modular angeordnet, entweder parallel oder in Reihe zur Steigerung der Leistungsfähigkeit.

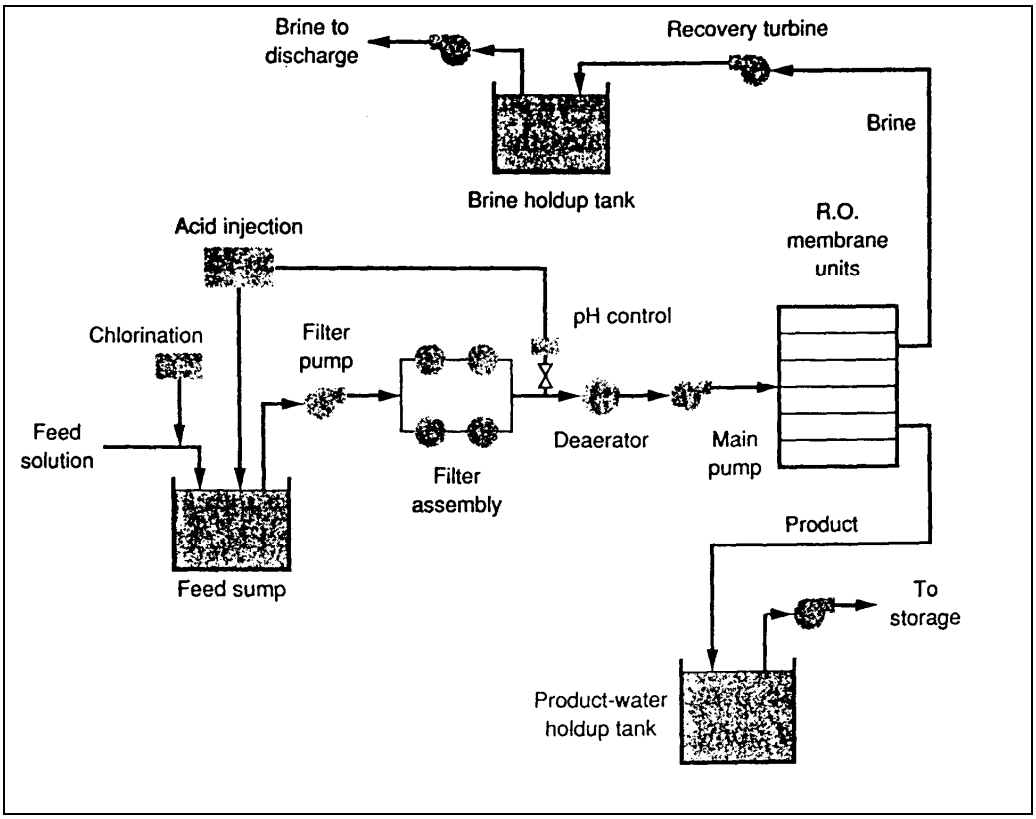

Abbildung 3.24: Anordnung der UO
Acid injection = Säureeinspritzung; Brine = Sole; Brine to discharge = Sole zur Einleitung; Brine holdup tank = Solespeichertank; Chlorination = Chlorierung; Filter assembly = Filteraufbau; Feed solution = Zulauf der Lösung; Feed sump = Zulaufsumpf; Filter pump = Filterpumpe; Main pump = Hauptpumpe; pH control = pH-Kontrolle; Product = Produkt (Reinwasser); Product-water holdup tank = Produkt-/ Wasserspeichertank; Recovery turbine = Turbine zur Energierückgewinnung; R.O. membrane units = UO-Membranelemente; To storage = zur Lagerung

Anwendung

Da sie bezüglich der Wanderung der Molekülteilchen durch ihre Oberfläche unterschiedliche Eigenschaften aufweisen, haben NF und UO unterschiedliche Anwendungen.

NF wird eingesetzt, um größere organische Moleküle und mehrwertige Ionen abzutrennen, damit das Abwasser zurückgeführt und wieder verwendet werden kann, oder um sein Volumen zu verringern und gleichzeitig die Konzentration der Verunreinigungen so zu erhöhen, um nachfolgende zerstörende Verfahren zu ermöglichen.

Bei der UO werden Wasser und gelöster Inhaltsstoffe bis hinunter zu ionischen Spezies getrennt. Sie wird eingesetzt, wenn ein hoher Reinheitsgrad gefordert wird. Die abgetrennte Wasserphase wird zurückgeführt und wieder verwendet. Beispiele sind:

- Entsalzung,
- Abschließende Entfernung, z. B. von:
  - abbaubaren Inhaltsstoffen, falls eine biologische Behandlung nicht zur Verfügung steht,
  - Schwermetallen,
  - toxischen Inhaltsstoffen,
- getrennte Erfassung von Schadstoffen mit dem Ziel, diese aufzukonzentrieren oder sie weiter zu verarbeiten.

NF und UO werden häufig in Kombination mit Nachbehandlungstechniken für das Permeat eingesetzt, wie z. B. Ionenaustausch oder GAK-Adsorption.

Anwendungsgrenzen and Beschränkungen:

		Grenzen / Beschränkungen
NF	Teilchengröße	eingeschränkte Fähigkeit zur Zurückhaltung suspendierter Teilchen mit Molekulargewicht <200
UO	Konzentration	Konzentrierte Lösungen mit einem osmotischem Druck, der den verfügbaren Betriebsdruck überschreitet oder nicht ökonomisch darstellbar ist
	Salzlöslichkeit	Salzlösungen mit geringer Löslichkeit neigen zur Ausfällung und verursachen deshalb Fouling / Scaling
	polymerisierende Monomere	Verunreinigungen, die zur Polymerisation neigen, verursachen Fouling
Beide	Membranmaterial	geringe thermische und chemische Beständigkeit begrenzen ihre Anwendung auf eingeschränkte pH- und Temperaturbereiche (18-30 °C)

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Trennleistung. • Modulare Systeme, d. h. flexibel im Einsatz. • Recycling von Permeat und Konzentrat möglich. • Niedrige Betriebstemperaturen. • Möglichkeit der Vollautomatisierung.	• Verstopfen, Zusetzen und Foulingprozesse möglich. • Verdichtung bei Anwesenheit von Weichmachern. • Hohe Drücke notwendig. Geringe Permeatflüsse.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Eliminationsgrad [%]		Bemerkungen
	NF	UO	
Anorganisches Quecksilber	>90 [1]		
Organische Quecksilberverbindungen	>90 [1]		
Cadmiumverbindungen	>90 [1]		
Tetrachlormethan	96 [1]		
1,2-Dichlorethan	71 [1]		
Trichlorbenzol	96 [1]		
Perchlorethen	90–92 [1]		
Atrazin	>70 [1]	84–97 [1]	
γ-Hexachlorcyclohexan		99 [1]	
DDT		100 [1]	
Aldrin		100 [1]	
Dieldrin		100 [1]	
Dichlorvos		98 [1]	
Simazin		95 [1]	
Trifluralin		99 [1]	
Fenitrothion		99 [1]	
Azinphos-methyl		98 [1]	
Malathion		99 [1]	
TOC	80-90 [2]		

[1] [cww/tm/27]
[2] [cww/tm/160]

Medienübergreifende Wirkungen

Membranverfahren führen zu einem Abfallstrom (Konzentrat) mit annähernd 10 % des ursprünglichen Volumens des Zulaufes, in welchem die Zielschadstoffe in etwa 10fach höherer Konzentration enthalten sind. Es muss eine Bewertung durchgeführt werden, ob dieser Rückstand zurückgeführt werden kann, entsorgt werden muss oder einer Nachbehandlung, z. B. mittels Nassoxidation bedarf (Konzentrat aus der Herstellung von Farbstoffen [cww/tm/132]).

Bei organischen Stoffen kann die Konzentrationserhöhung die Voraussetzungen für nachfolgende oxidative zerstörende Verfahren verbessern. Bei anorganischen Stoffen kann die Aufkonzentrationsstufe als Teil eines Rückgewinnungsverfahrens eingesetzt werden. In beiden Fällen kann das Permeatwasser aus einem Membranverfahren möglicherweise wieder verwendet oder in den industriellen Prozess zurückgeführt und dadurch der Wassereinsatz und die Einleitung verringert werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge	
	NF	UO
Membranmaterialien		
Chemikalien für Reinigung		
Energie [kWh/m^3]	1-3 [a 1]	1-3 [a 1]
[a] Niederdruck-Anwendung, <2,5 MPa [1] [cww/tm/161]		

Der Energieverbrauch ist direkt von der Durchflussmenge und dem erforderlichen Druck abhängig. Er ist hauptsächlich an eine aufrecht zu erhaltenden Mindestgeschwindigkeit von etwa 2 m/s entlang der Membranoberfläche gekoppelt.

Überwachung

Um einen verlässlichen Betrieb zu garantieren, müssen Druckdifferenz und Fluss entlang der Membran kontinuierlich überwacht werden.

Ökonomische Daten

	Durchflussmenge [m^3/h]	Investitionskosten	Betriebskosten	Wiederbeschaffungskosten
NF		350–1100 GBP [1] pro m^2 Membran [a]		60–140 GBP [1] pro m^2 Membran [a]
			3,3 EUR/kg TOC [2]	
UO		350–1100 GBP [1] pro m^2 Membran [a]		60–140 GBP [1] pro m^2 Membran [a]
		10–12 Millionen EUR pro 1000 m^3/h Abwasser		
[a] für spiral- und rohrförmige Membranen [1] [cww/tm/93] [2] [cww/tm/160]				

Die Investitionskosten, einschließlich der automatisierten Reinigung, können näherungsweise wie folgt aufgegliedert werden [cww/tm/93]:

Pumpen	30 %
Austauschbare Membrankomponenten	20 %
Membranmodule (Gehäuse)	10 %
Rohrleitungen, Ventile, Rahmen	20 %
Regelsystem	15 %
Andere	5 %

Die Betriebskosten [cww/tm/93] lassen sich herleiten aus:

- Energiekosten zur Aufrechterhaltung von hydrostatischem Druck und Durchflussmenge des Systems,
- zu erwartender Standzeit der Membran,
- erforderlichem Reinigungssystem,
- Standort-spezifischen Faktoren, z. B. erforderliche Arbeitskräfte.

Sie können wie folgt näherungsweise aufgegliedert werden [cww/tm/93]:

austauschbare Membrankomponenten	35–50 %
Reinigung	12–35 %
Energie	15–20 %
Arbeitskräfte	15–18 %

3.3.4.2.9 Adsorption

Beschreibung

Bei der Adsorption gehen lösliche Stoffe aus der Abwasserphase auf die Oberfläche hochporöser Feststoffteilchen (dem Adsorbens) über. Für jeden zu entfernenden Inhaltsstoff hat das Adsorbens eine endliche Aufnahmekapazität. Ist diese Kapazität erschöpft, ist das Adsorbens 'verbraucht' und muss durch neues Material ersetzt werden. Das verbrauchte Adsorbens muss entweder regeneriert oder verbrannt werden.

Mögliche Adsorbentien für adsorptive Abwasserreinigung sind in Tabelle 3.6 aufgelistet [cww/tm/132].

Adsorbens	Form	Spezifische Oberfläche [m^2/g]	Porenvolumen [cm^3/g]	Schüttdichte [g/l]
Aktivkohle	körnig	500–1000	0,3–0,8	300–550
	Pulver	600–1500	0,3-1,0	
Braunkohlekoks	körnig, Pulver	200–250	<0,1	etwa 500
γ-Aluminiumoxid	körnig, Pulver	300–350	0,4–0,5	700–800
Adsorberharze	Körner	400-1500	Porosität 35–65 Vol%	650-700

Tabelle 3.6: Häufig eingesetzte Adsorbentien und deren Eigenschaften

Adsorptionsverfahren werden eingeteilt in [cww/tm/132]:

- Mischen, für gewöhnlich bei chargenweiser Behandlung,
- Perkolation, einsetzbar bei kontinuierlicher Behandlung, für gewöhnlich mit in zwei Säulen gefüllten Festbett-Adsorbern, welche abwechselnd in Betrieb sind und rückgespült werden,
- Pulsierendes Bett oder Wanderbett-Verfahren, bei kontinuierlicher Perkolation. Abwasser und Adsorbens werden im Gegenstrom durch die Säule geführt.

Da die aktive Oberfläche des Adsorbens häufig zum Verstopfen und zu Verblockungen neigt, muss das Abwasser so weit wie möglich frei von festen Inhaltsstoffen sein. Dies macht häufig eine vorgeschaltete Filtrationsstufe notwendig.

In Abbildung 3.25 ist ein Beispiel für die Verfahrensschritte eines in Reihe geschalteten Zwei-Säulen-Festbettabsorbers dargestellt [cww/tm/132].

Die Adsorberbehälter sind gewöhnlich aus korrosionsbeständigen Materialien hergestellt, z. B. ausgekleidetem Karbonstahl, Edelstahl oder mit Glasfaser verstärktem Kunststoff (GFK).

Für die Lagerung des Adsorbens sind Einrichtungen erforderlich.

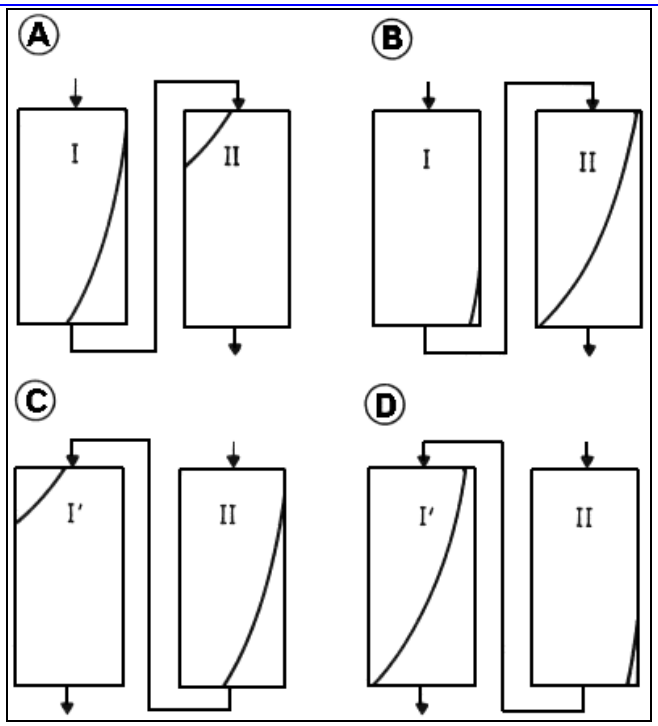

Abbildung 3.25: Betrieb von 2 in Reihe geschalteten Adsorptionssäulen
A) Reihenfolge I → II, am Anfang des Prozesses,
B) Reihenfolge I → II, Filter I muss ausgetauscht werden,
C) Reihenfolge II → I′, kurz nach Austausch von I,
D) Reihenfolge II → I′, Filter II muss ausgetauscht werden

Anwendung

Das im Chemiesektor am häufigsten eingesetzte Adsorbens ist Aktivkohle. Es wird als Granulat (GAK) in Säulen eingesetzt oder als Pulver (PAK) in den Behandlungsbehälter oder das Becken zudosiert. Andere häufig eingesetzten Adsorbentien sind Braunkohle, aktiviertes Aluminiumoxid, Adsorberharze und Zeolite.

- **GAK-Adsorption** wird eingesetzt, um organische Verunreinigungen zu eliminieren, hauptsächlich solche mit refraktären, toxischen, farbigen und/oder geruchsintensiven Eigenschaften, sowie bei Restmengen anorganischer Verunreinigungen, wie Stickstoff-Verbindungen, Sulfiden und Schwermetallen. Um die vorhandenen suspendierten Feststoffe zu entfernen, werden üblicherweise dem GAK-Adsorber körnige Filtermedien, z. B. Sandfilter, nachgeschaltet.

  Repräsentative Anwendungen sind [cww/tm/92]:

  - Textilien und Farbstoffe: Elimination von TOC, Farbigkeit, Farbstoffen
  - Mineralölraffinerien und Petrochemie: Elimination von CSB, BSB
  - Detergentien, Harze, Chemikalien: Elimination von TOC, CSB, Xylol, Alkoholen, Phenolen, Harz-Zwischenprodukte, Resorcinol, nitrierte Aromaten, Polyole
  - Herbizide, Insektizide: Elimination von Chlorphenolen, Kresol
  - Pharmazeutika: Elimination von Phenol
  - Explosivstoffe: Elimination von nitrierten Phenolen

  GAK wird für gewöhnlich durch thermische Reaktivierung bei Temperaturen von etwa 900 - 1000 °C regeneriert.

- **PAK-Adsorption** wird bei denselben Verunreinigungen wie bei GAK eingesetzt. PAK wird dem Abwasser zugegeben, als Anschlämmung behandelt und nachfolgend mittels Trennverfahren, wie Sedimentation und Filtration abgetrennt. PAK kann dem Abwasserstrom auch an der gleichen Stelle wie das Koagulierungsmittel zugegeben und mit vorhandenen Sedimentations- und Filtrationsanlagen abgetrennt werden. Dieses Verfahren wird bevorzugt dort eingesetzt, wo die adsorptive Entfernung organischer Stoffe für Teilzeiträume oder in unterschiedlichem Ausmaß notwendig ist. Falls dies erforderlich ist, kann PAK alleine zudosiert werden. Eine weitere Anwendung ist ihr Einsatz in Störfällen zur Entfernung in einem Absetzbecken, Belebtschlammbecken oder in anderen Behältern aufgefangener refraktärer, gefährlicher oder toxischer Stoffe. PAK kann auch dem Belüftungsbecken einer Belebungsanlage zugesetzt werden, um die mikrobiologischen Prozesse durch Adsorptionsprozesse zu unterstützen. PAK-Adsorbentien werden für gewöhnlich in einer Anordnung mit einem Mixer-Settler oder Slurry-Adsorber in Kombination mit einer Koagulierungsstation / Flockulationshilfsmittel eingesetzt, wobei die PAK in der Flockulations-, Sedimentations- oder Filtrationsstufe zugesetzt wird.

  PAK wird für gewöhnlich nicht regeneriert, sondern wird zum Bestandteil des zu entsorgenden Schlammes.

- **Braunkohlekoks** wird wie GAK verarbeitet und eingesetzt und kann diese ersetzen, wenn geringere Reinigungseffekte ausreichen. Ihr geringerer Preis ist gegen eine geringere Adsorptionsleistung abzuwägen, was zu größeren Mengen an Adsorbens oder häufigeren Regenerierungszyklen führt.

- **Aktiviertes Aluminiumoxid** wird eingesetzt, um hydrophile Stoffe zu adsorbieren, z. B. Fluorid und Phosphat. Sobald es mit organischen Stoffen beladen ist, wird es thermisch regeneriert bei einer Temperatur von etwa 750 °C. Falls es mit anorganischen Stoffen beladen ist, wird es chemisch regeneriert.

- **Adsorberharze** werden zur gezielten Entfernung von sowohl hydrophoben als auch hydrophilen organischen Verunreinigungen eingesetzt, z. B. um die Rückgewinnung der organischen Verbindungen zu erleichtern. Indem sie die organischen Verbindungen aufnehmen, neigen die Harze dazu, im Laufe der Zeit aufzuquellen.

  Adsorberharze werden mit Lösemitteln, wie Methanol oder Aceton chemisch regeneriert.

- **Zeolite** werden eingesetzt, um Ammoniak oder Schwermetalle, z. B. Cadmium, zu entfernen. Nur bei schwach belasteten Strömen können sie effektiv zur Ammoniakentfernung eingesetzt werden (bis zu 40 mg/l). Sie werden durch Elution mit Natriumchloridlösungen mit alkalischem Soda oder Kalk regeneriert.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Abf. Stoffe	<20 mg/l mit Festbettadsorber [1] <10 mg/l mit Fliessbettadsorber [2]
Schadstoffkonzentration	<100 g/l (ohne Rückgewinnung des Adsorbens) [2] <500 g/l (mit Rückgewinnung des Adsorbens) [2]
Molekulargewicht	Verringerter Wirkungsgrad bei geringen Molekulargewichten
Länge der Kohlenstoffkette	Verringerter Wirkungsgrad bei zunehmender Kettenlänge
Verzweigungen der Kohlenstoffkette	Verringerter Wirkungsgrad bei zunehmender Verzweigung
Polarität	Verringerter Wirkungsgrad bei höherer Polarität
Löslichkeit in Wasser	Verringerter Wirkungsgrad bei höherer Löslichkeit
Dissoziationsgrad	Verringerter Wirkungsgrad bei zunehmender Dissoziation
Makromoleküle	Verringerter Wirkungsgrad bei makromolekularer Struktur

[1] [cww/tm/4]
[2] [cww/tm/51]

Der Einfluss der Polarität wird in Tabelle 3.7 verdeutlicht [cww/tm/91]

Substanz	Elimination [%]	Aufnahmekapazität [mg/g]
Benzol	95	80
Ethylbenzol	84	19
Butylacetat	84	169
Ethylacetat	51	100
Phenol	81	161
Methylethylketon (MEK)	47	94
Aceton	22	43
Pyridin	47	95
Diethanolamin	28	57
Monoethanolamin	7	15
Acetaldehyd	12	22
Formaldehyd	9	18
Isopropylalkohol	22	24
Methylalkohol	4	7

Tabelle 3.7: Typische Leistungsmerkmale der GAK-Adsorption bei Zulaufkonzentrationen von etwa 1000 mg/l

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Eliminationsraten (nicht bei Braunkohlekoks). • Ermöglicht Entfernung refraktärer und/oder toxischer organischer Verbindungen (GAK, PAK, Braunkohle, Harze). • Für gewöhnlich kaum besonderer Platzbedarf. • Automatisierte Systeme. • Rückgewinnung von Inhaltsstoffen möglich (bevorzugt bei Zeoliten).	• Mischungen organischer Verbindungen können zu deutlich verringerter Adsorptionskapazität führen. • Hohe Gehalte makromolekularer Verbindungen verringern die Leistung und können irreversible Verblockung der aktiven Stellen verursachen. • Auswaschungseffekte in der Belebungsanlage verursachen bedeutende Erosionsprobleme (PAK). • Verbrauchte Adsorbentien müssen regeneriert (hoher Energieverbrauch) oder entsorgt werden (zu verbrennender Abfall entsteht).

Erreichbare Emissionwerte / Eliminationsgrade

Der Wirkungsgrad von Adsorptionsverfahren variiert stark mit der Abwasserzusammensetzung und der Zulaufkonzentration. Dies sollte bedacht werden, wenn erreichbare Emissionswerte als Referenz zitiert werden.

Erreichbare Emissionswerte sind:

Parameter	Eliminationsgrad [%]						Bemerkungen
	GAK	PAK	Braunkohle	Al_2O_3	Harze	Zeolith	
Anorganisches Hg	80 [1]						Zulauf 29 µg/l
Organisches Hg	80 [1]						niedriger Zulauf
γ-Hexa-chlor-cyclo-hexan	93 [1]						Zulauf 7,7 µg/l
		99 [1]					Zulauf 10 µg/l PAK 85 mg/l
DDT	97 [1]-99,9						
Aldrin	88-93 [1]						
		90-99 [1]					PAK 5-20 mg/l
Dieldrin	86-98 [1]						
		99 [1] [0,1 µg/l]					Zulauf 10 µg/l, PAK 126 mg/l
Atrazin	84 [1]						Zulauf 0,61 µg/l

Parameter	Eliminationsgrad [%]						Bemerkungen
	GAK	PAK	Braunkohle	Al_2O_3	Harze	Zeolith	
Endrin		<0,1 µg/l [1]					Zulauf 10 µg/l, PAK 70 mg/l
Dichlorvos		99 [1]					
TCB		70-93 [1]					Zulauf 200 µg/l PAK 20 mg/l
Fenitrothion		99 [1]					
Azinphos-methyl		99 [1]					
Ammoniak						98 [1] [0,5 mg/l]	Zulauf 25 mg/l
CSB	50 [2]						Fliessbett, Zulauf 5 g/l
	67-75 [3] [<100 mg/l]						Zulaufkonzentration 300-400 mg/l
Phenole	75 [2]						Fliessbett, Zulauf 70 mg/l
	60-80 [3] [1-2 mg/l]						Zulaufkonzentration 5 mg/l
AOX	>90 [2]						Fliessbett, Zulauf 60 mg/l

[1] [cww/tm/27]
[2] [cww/tm/82]
[3] [cww/tm/96]

Es wird über PAK-Behandlungsanlagen berichtet [cww/tm/77], die Abwasser mit einem CSB über 60000 mg/l behandeln, einschließlich toxischer flüchtiger organischer Verbindungen über 1000 mg/l, bei einer Verringerung spezifischer toxischer Chemikalien auf Werte deutlich unterhalb der Nachweisgrenze. Dies entspricht einer Verminderung von etwa 100 %.

Medienübergreifende Wirkungen

Wenn die Adsorptionskapazität des Adsorbens erschöpft ist, wird es ausgetauscht und nachfolgend regeneriert (ausgenommen PAK, die zusammen mit dem übrigen Schlamm aus der Abwasserreinigung entsorgt wird). Wie oben erwähnt, gibt es für die Adsorbentien jeweils unterschiedliche Regenerierungsmethoden. Diesen Methoden ist jedoch gemeinsam, dass sie für ihren Betrieb Energie und/oder Chemikalien benötigen.

GAK, Braunkohle und aktiviertes Aluminiumoxid werden (falls mit organischen Stoffen beladen) thermisch regeneriert bei Temperaturen bis zu 750 – 1000 °C. Harze, Zeolite und mit anorganischen Stoffen beladenes aktiviertes Aluminiumoxid wird mit Chemikalien, entweder mit organischen Lösemitteln oder anorganischen Lösungen, eluiert.

Durch die Regenerierungsverfahren für GAK werden zum Beispiel Abgase freigesetzt. Diese enthalten die thermischen und chemischen Zersetzungsprodukte der adsorbierten Verbindungen. Bei jeder Regenerierung wird ein Anteil von etwa 10 % verloren [cww/tm/27] und muss durch frische GAK ersetzt werden. Diese kontinuierliche Erneuerung sollte ausreichen, um die Gesamtqualität der GAK im Festbett aufrecht zu erhalten. Die Regenerierung des GAK wird für gewöhnlich von spezialisierten Firmen durchgeführt, die Regenerierungsöfen betreiben. Diese Firmen übernehmen den Transport der in der Behandlungsanlage verbrauchten GAK zu den Regenerierungsöfen und zurück. Da die Regenerierung relativ teuer ist, werden Anlagen gewöhnlich so geplant, dass ein Zeitraum von mindestens sechs Monaten zwischen den Regenerierungszyklen gegeben ist.

Die Entstehung von Abgasen bei der Regenerierung macht eine nachfolgende Abgasbehandlung notwendig, wenn nicht am Chemiestandort selbst, dann am Standort der Regenerierungsfirma.

Falls die GAK nicht regeneriert werden kann, muss sie als chemischer Abfall entsorgt und verbrannt werden. Dies kann dann der Fall sein, wenn die GAK mit PCBs, Dioxinen, Schwermetallen oder Dichlorbrompropan (DCBP) verunreinigt ist [cww/tm/77].

Die Regenerierung von Zeolit als Adsorbens führt zu einem konzentrierten Strom von Ammoniak, der einer konventionellen Abwasserbehandlungsanlage zur biologischen Behandlung zugeführt oder, alternativ hierzu, einer Behandlung unterzogen wird, die aus Luftstrippung zur Rückgewinnung von Ammoniak mit nachfolgender Adsorption in verdünnter Säure zur Bildung von verkaufsfähigem Dünger besteht.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchs-material	GAK	PAK	Braunkohle	Al_2O_3	Harz	Zeolith
Adsorbens	10 % Verlust pro Regenerierung	0,5-1,0 kg/m^3 Abwasser [1]				
Chemikalien für Regenerierung						NaCl/NaOH oder Kalk 10-30 Bett volumen [2]
Energie [kWh/m^3]						

[1] [cww/tm/128]
[2] [cww/tm/27]

Weitere Umweltauswirkungen sind:

- der Transport verbrauchter GAK zur und von der Regenerierungsfirma zurück,
- das Regenerierungsverfahren am Standort der Spezialfirma selbst,
- der Energieverbrauch für das Regenerierungsverfahren,
- die Freisetzungen von Verunreinigungen in das Wasser und/oder die Luft während des Regenerierungsverfahrens,
- Lärmquellen, z. .B. Pumpen, welche gekapselt werden können.

Überwachung

Input und Output des Adsorbers müssen auf die in Frage kommenden Verbindungen überwacht werden. Zur Alarmierung vor einem Durchbruch ist für gewöhnlich eine TOC-Messung (auf organische Verunreinigungen) oder eine Leitfähigkeitsmessung auf anorganische Verunreinigungen die Methode der Wahl.

Ökonomische Daten

Kosten	GAK	PAK	Braunkohle	Al_2O_3	Harz	Zeolit
Investition	30000 GBP [1] [14 m^3/h]					
	75000 GBP [1] [60 m^3/h]					
	110000 GBP [1] [120 m^3/h]					
	20-30 Millionen FIM [3] [350 m^3/h]					
Betrieb	1000-2000 GBP [1] pro Tonne GAK [a]					
	200000 BEF [2] pro Tonne GAK [b]					
	0,7 FIM /m^3 Abwasser [3]					

[a] Regenerierungskosten für GAK
[b] Kosten für GAK, inklusive Regenerierung
[1] [cww/tm/92]
[2] [cww/tm/128]
[3] [cww/tm 96]

3.3.4.2.10 Ionenaustausch

Beschreibung

Beim Ionenaustausch werden unerwünschte oder gefährliche ionische Abwasserinhaltsstoffe durch ein Ionenaustauscherharz entfernt und durch eher akzeptable Ionen ersetzt. Sie werden dort vorübergehend zurückgehalten und danach mit einer Regenerierflüssigkeit (oder Rückspülung) freigesetzt.

Die Einrichtungen eines Ionenaustauschers bestehen für gewöhnlich aus:

- einem senkrechten zylindrischen Druckbehälter mit korrosionsbeständiger kunstharzhaltiger Auskleidung, der das Harz, für gewöhnlich als gepackte Säule mit mehreren möglichen Konfigurationen, enthält,
- einem Regelventil und Rohrleitungssystem, das den Abwasserstrom und die Regenerierlösung an die richtigen Stellen leitet,
- einem System zur Regenerierung des Harzes, bestehend Regeleinrichtungen für das Auflösen und die Verdünnung von Salzen.

Entweder am oberen Ende oder am Boden des Behälters befindet sich ein Verteilersystem für den Zulauf und sorgt für eine gleichmäßige Verteilung des zulaufenden Abwassers und verhindert so, dass im Harzbett Strömungskanäle ausgehöhlt werden. Es dient auch der Sammlung des Rückspülwassers.

Allgemein gebräuchliche Ionenaustauscher bestehen aus makroporösen Kunstharzkörnern mit kationischen oder anionischen funktionellen Gruppen, wie:

- starksauren Kationenaustauschern (SAC), die starke Laugen neutralisieren und Neutralsalze in ihre entsprechenden Säuren umwandeln,
- schwachsauren Kationenaustauschern (WAC), die in der Lage sind, starke Laugen zu neutralisieren und zur Enthärtung eingesetzt werden,
- stark basischen Anionenaustauschern (SBA), die starke Säuren neutralisieren und Neutralsalze in ihre entsprechenden Laugen umwandeln,
- schwach basischen Anionenaustauschern (WBA), die starke Säuren neutralisieren und für partielle Demineralisierung eingesetzt werden.

Der Verfahrenszyklus des Ionenaustausches umfasst:

- den eigentlichen Ionenaustauschprozess,
- die Rückspülstufe, einschließlich der Entfernung der angesammelten Partikel und Auflockerung des Ionenaustauscherharzbettes,
- die Regenerierstufe, bei der ein geringes Volumen einer hoch konzentrierten Lösung eingesetzt wird, um das Ionenaustauscherharz mit dem entsprechenden Ion wieder zu sättigen und die unerwünschten Ionen mit der Regenerierlösung freizusetzen,
- die Verdrängung oder Langsamspülung mit langsam fließendem Wasser. Dabei wird die Regenerierlösung aus dem Harz verdrängt,
- die Schnellspülung, bei der die verbliebenen Spuren der Regenerierlösung, einschließlich evtl. Resthärte, aus dem Harz entfernt werden.

Für die Regenerierchemikalien sind Lagerungseinrichtungen erforderlich.

Anwendung

Ionenaustausch wird eingesetzt zur Entfernung störender ionischer und ionisierbarer Stoffe aus dem Abwasser, z. B.:

- kationischer oder anionischer Schwermetallionen, z. B. Cr^{3+} oder Cadmium und Cadmiumverbindungen bei geringen Zulaufkonzentrationen, CrO_4^{2-} auch bei hohen Zulaufkonzentrationen,
- ionisierbarer anorganischer Verbindungen, wie H_3BO_3,
- löslicher, ionischer oder ionisierbarer organischer Verbindungen, z. B. Carbonsäuren, Sulfonsäuren, einige Phenole, salzsaure Amine, quaternäre Amine, Alkylsulfate und organisches Quecksilber können eliminiert werden.

Ionenaustausch ist als end-of-pipe Behandlung anwendbar. Sein größter Wert liegt jedoch in seinem Potential für die Rückgewinnung. Er wird häufig als integriertes Verfahren bei der Abwasserbehandlung eingesetzt, z. B. um Spülwasser und Prozesschemikalien zurückzugewinnen. Typische Zulaufkonzentrationen liegen zwischen 10 und 1000 mg/l. Um Verstopfungen zu vermeiden, sollten im Zulauf weniger als 50 mg/l suspendierte Partikel vorhanden sein. Als Vorbehandlung sind deshalb Schwerkraft- oder Membranfiltration geeignet.

Anwendungsgrenzen and Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Ionenkonzentration	hohe Ionenstärke kann Aufquellen der Harzpartikel verursachen
Temperatur	thermische Grenzen von Anionenharzen im allgemeinen in der Nähe von etwa 60 °C
Korrosive Medien	Salpetersäure, Chromsäure, Wasserstoffperoxid, Eisen, Mangan, Kupfer können die Harze schädigen
Störende Verbindungen	anorganische Verbindungen wie Eisenniederschläge oder organische Verbindungen, wie Aromaten, können irreversibel an das Harz adsorbiert werden

Vorteile und Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
• Im Prinzip können alle Ionen und ionisierbaren Stoffe aus wässrigen Flüssigkeiten eliminiert werden. • Betrieb erfolgt bei Bedarfs relativ unempfindlich gegenüber Zulaufschwankungen. • Hoher Wirkungsgrad möglich. • Rückgewinnung wertvoller Stoffe möglich. • Rückgewinnung von Wasser möglich. • Große Vielfalt von speziellen Harzen verfügbar.	• Vorgeschaltete Filtration notwendig. • Fällung, Adsorption und Bakterienaufwuchs führen zu Fouling auf der Oberfläche des Harzes. • Störung durch konkurrierende Ionen im Abwasser. • Verschleiß der Harzpartikel durch Regenerierung oder mechanische Einflüsse. • Die aus der Regenerierung resultierenden Solen und Schlämme müssen behandelt oder entsorgt werden.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Für die Ionen typische erreichbare Ablaufkonzentrationen liegen im Bereich von 0,1 – 10 mg/l, bei Zulaufkonzentrationen von 10–1000 mg/l.

Parameter	**Konzentration [mg/l]**	**Elimination [%]**	**Bemerkungen**
Ion im Ablauf	0,1–10	80–99 [1]	Zulaufkonzentrationen von 10–1000 mg/l
Kupfer			
Nickel			
Kobalt			
Zink			
Chrom(III)			
Chrom(VI)			
Eisen			
Sulfat			
Nitrat			

[1] [cww/tm/128]

Medienübergreifende Wirkungen

Die Regenerierung der Ionenaustauschharze führt zu einem geringen Volumen einer konzentrierten Säure oder Salzlösung, welche die vom Harz zurückgehaltenen Ionen enthält. Diese angereicherte Flüssigkeit muss gesondert behandelt werden, um diese Ionen, z. B. Schwermetalle, durch Fällung zu entfernen.

Das Spülwasser aus der Regenerierung enthält die gleichen Ionen wie die Sole, aber in relativ geringen Konzentrationen. Ob dieser Teilstrom direkt eingeleitet werden kann oder einer Behandlung unterzogen werden muss, hängt von den tatsächlichen Konzentrationen ab.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Ionenaustauscherharz	
Regenerierflüssigkeit (Salzsäure, schweflige Säure, Natriumchlorid, Natriumhydroxid, etc.)	Abhängig von der Menge des Harzes
Chemikalien, z. B. zur Unterdrückung des mikrobiologischen Fouling	
Rückspül- und Spülwasser	
Energie [kWh/m^3]	

Pumpen sind Lärmquellen und können gekapselt werden.

Überwachung

Zulauf und Ablauf des Ionenaustauscherbehälters müssen sorgfältig auf das Auftreten von Durchbrüchen überwacht werden. Zu überwachende Parameter sind:

- Druckverlust,
- elektrische Leitfähigkeit,
- pH,
- Zulaufkonzentration des zu überwachenden Ions.

Ökonomische Daten

Kapital- und Betriebskosten sind von der Art des Zulaufstromes abhängig.

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten	60000 GBP [1] + 20000 GBP [1]	Füllhöhe von 1 m und Durchmesser von 1 m, einschließlich Behälter, Ventile und Harz; für zusätzliche 0,5 m Durchmesser
	80000 BEF/m^3 [2]	Kationenaustauscher
	200000 BEF/m^3 [2]	Anionenaustauscher
Betriebskosten	200 BEF/m^3 [2]	

[1] [cww/tm/92]
[2] [cww/tm/128]

3.3.4.2.11 Extraktion

Beschreibung

Bei der Extraktion werden lösliche Verunreinigungen aus der Abwasserphase auf ein Lösemittel übertragen. Geeignete Lösemittel sollten folgende Eigenschaften haben:

- geringe Löslichkeit und Mischbarkeit mit Wasser. Beispiele sind leichtes Erdöl, Toluol, Pentan und Hexan,
- größeres Lösevermögen für den Schadstoff als für Wasser,
- gute Trennbarkeit von Lösemittel und Abwasser, z. B. aufgrund großer Dichtedifferenz,

- gute Trennung der Verunreinigungen, z. B. aufgrund geringer Verdampfungswärme bei Anwendung von Destillation,
- geringe Toxizität,
- thermische Stabilität.

Die Extraktion wird in Kolonnen durchgeführt, in denen das Abwasser mit dem organischen Lösemittel durch unterschiedliche Arten in Kontakt gebracht wird, z. B.:

- Gegenstromkaskaden,
- Extraktoren nach dem Mixer-Settler-Prinzip,
- Siebplattenkolonnen,
- Füllkörperkolonnen,
- Sprühkolonnen,
- Rotationskolonnen,
- Extraktionszentrifugen, für geringe Dichteunterschiede.

Für die flüssig/flüssig-Trennung und für die Destillation der Lösemittelfraktion werden nachgeschaltete Anlagen betrieben. Die verbleibende Abwasserphase muss für gewöhnlich vom gelösten Extraktionsmittel befreit werden, z. B. durch Strippung oder GAK-Adsorption.

Für das Extraktionsmittel und den Rückstand müssen Lagerungseinrichtungen zur Verfügung gestellt werden. Um Emissionen in Luft und Boden zu vermeiden, müssen diese mit den notwendigen Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet werden.

Anwendung

Falls ein geeignetes Lösemittel zur Verfügung steht und die Konzentration der Schadstoffe nicht zu gering ist, wird die Extraktion mit Lösemitteln bei einer Vielzahl organischer Verunreinigungen und Metallkomplexe eingesetzt. Bei geringen Konzentrationen ist die Extraktion nicht mit der Adsorption oder der biologischen Behandlung konkurrenzfähig. Sie wird häufig als Vorbehandlung zur Adsorption und/oder biologischen Behandlung eingesetzt.

Beispiele sind [cww/tm/82]:

- Elimination von Phenol (Phenosolvanprozess),
- Rückgewinnung von Metallen, wie Zink,
- Rückgewinnung von Stoffen aus Mutterlaugen,
- Elimination von Phosphorsäureestern,
- Elimination von Chloraromaten,
- Aufkonzentration von aromatischen Sulfonsäuren als Vorbehandlungsschritt.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Suspendierte Feststoffe	Abwasser sollte möglichst weitgehend frei von suspendierten Feststoffen und/oder Emulsionen sein
Lösemittel	Eignung des Lösemittels (vgl. oben); Lösemittelverluste ziehen Kosten und Umweltauswirkungen nach sich; Lösemittelregeneration kann sehr kompliziert und kostenintensiv sein

Vorteile und Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
• Entfernung und Rückgewinnung refraktärer und/oder toxischer organischer Verbindungen und einiger Metalle möglich.	• Rückstande müssen deponiert oder verbrannt werden. • Aufgrund der Eigenschaften der Lösemittel begrenzt anwendbar.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
Phenole	99	<1	Zulauf 10 g/l
CSB			
AOX			
Zink			
Phosphorsäureester			

Medienübergreifende Wirkungen

Durch den Verlust von Lösemitteln während des Betriebes werden Emissionen in Form von Abgas oder Lösemittelrückstände im Abwasser verursacht. Letztere machen eine zusätzliche Behandlung erforderlich, z. B. Strippung, die ersteren eine Ableitung, z. B. zu einer thermischen/ katalytischen Oxidation oder Adsorption.

Der nach Lösemittelrückgewinnung (Destillation oder Rektifikation) verbleibende Kolonnensumpf enthält die extrahierten Verunreinigungen und muss als chemischer Abfall entsorgt werden, für gewöhnlich durch Verbrennung.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Lösemittel, Ersatz von Verlusten	
Energie [kWh/m^3]	
Energie für die nachfolgende Behandlung [kWh/m^3]	

Überwachung

Der Zulauf der Extraktionsanlage muss daraufhin überprüft werden, dass keine störenden, das Verfahren störende oder die Anlage schädigende Feststoffe eintreten. Um Lösemittelverluste in die Umwelt zu vermeiden oder zu detektieren, ist eine regelmäßige Wartung notwendig.

Ökonomische Daten

Die Kosten sind:

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.12 Destillation / Rektifikation

Beschreibung

Bei der Destillation oder Rektifikation wird das Abwasser von seinen Verunreinigungen befreit, indem diese in die Dampfphase übertragen werden. Danach wird die angereicherte Dampfphase kondensiert.

Durch Betrieb des Verfahrens unter Vakuum wird die Siedetemperatur erniedrigt, was die Abtrennung temperaturempfindlicher Stoffe möglich macht.

Destillation und Rektifikation werden in mit Böden oder Füllkörpern und einem nachgeschalteten Kondensator ausgerüsteten Kolonnen durchgeführt. Um örtliche Überhitzungen zu vermeiden, erfolgt die Heizung häufig durch direkte Dampfeinspritzung.

Für die Lagerung des Destillats und des Sumpfes müssen mit den notwendigen Sicherheitseinrichtungen ausgerüstete Einrichtungen zur Verfügung stehen.

Anwendung

Die Destillation oder Rektifikation von Abwasser hat einem begrenzten Einsatzbereich. Sie wird häufig als prozessintegrierte Maßnahme eingesetzt, um Ausgangsstoffe und/oder Produkt aus Mutterlaugen zurückzugewinnen. Als Abwasserbehandlungsverfahren wird sie z. B. eingesetzt:

- um Lösemittel nach Abwasserextraktion zurückzugewinnen,
- um Lösemittel aus Abwasser zurückzugewinnen, z. B. um Alkohole aus der Herstellung von Methylcellulose abzutrennen,
- um Ölemulsionen zu behandeln,
- als Vorbehandlung, um die wichtigsten Inhaltsstoffe zum Zwecke ihrer Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom zu entfernen und danach das Abwasser einer nachgeschalteten Behandlung zuzuleiten,
- um organische Stoffe aus Wäscherflüssigkeiten zurückzugewinnen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Zulaufkonzentration	Muss hoch genug sein, damit die Destillation wirtschaftlich durchführbar ist
Siedetemperatur	Ausreichender Unterschied zwischen den Siedetemperaturen des Abwassers und den Verunreinigungen. Bei azeotropen Mischungen Hilfsmittel notwendig, ansonsten ist destillative Trennung nicht möglich

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Stoffrückgewinnung möglich. • Ermöglicht Entfernung refraktärer und/oder toxischer organischer Verbindungen.	• Rückstände müssen entsorgt werden, gewöhnlich durch Verbrennung. • Hoher Energieverbrauch.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Eliminationsgrad [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
Phenol	96 [1]	2000	Zulauf 50 g/l
Methanol	97,5 [1]	2000	Zulauf 80 g/l
Epichlorohydrin (ECH)	90 [1]	700	Zulauf 7 g/l
Anilin	97,5 [1]	100	Zulauf 4 g/l
Chlorbenzol	90 [1]	10	Zulauf 100 mg/l

[1] [cww/tm/82]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Dampf (für Heizung)	
Energie [kWh/m^3]	
Energie für nachfolgende Behandlung [kWh/m^3]	

Überwachung

Um zu vermeiden, dass unerwünschte Feststoffe in die Anlage gelangen, die zu Störungen des Verfahrens oder Schäden an der Anlage führen können, muss der Zulauf der Destillations-/Rektifikationsanlage überprüft werden. Damit keine Lösemittelverluste in die Umwelt auftreten oder rechtzeitig detektiert werden, ist eine regelmäßige Wartung notwendig.

Ökonomische Daten

Die Kosten sind:

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.2.13 Eindampfung

Beschreibung

Abwassereindampfung ist ein Destillationsverfahren, bei dem das Wasser die flüchtige Substanz darstellt und das Konzentrat als Bodensumpf zurückbleibt und entsorgt werden muss. Das Ziel dieses Verfahrens ist die Verringerung des Abwasservolumens oder die Aufkonzentrierung von Mutterlaugen. Der flüchtige Dampf wird in einem Kondensator aufgefangen. Das kondensierte Wasser wird, falls erforderlich nach nachfolgender Behandlung, recycelt.

Durch Vakuumbetrieb wird die Siedetemperatur erniedrigt. Dadurch ist auch ein Recycling von Stoffen möglich, die sich ansonsten zersetzen würden.

Es gibt viele Arten von Verdampfern. Ihre Eignung ist von den jeweiligen Anforderungen abhängig. Beispiele von Verdampfern sind:

- Naturumlaufverdampfer, geeignet für hitzeunempfindliche Stoffe,
- Vertikal-Kurzwegverdampfer, geeignet für nicht korrosive oder nicht auskristallisierende Flüssigkeiten,
- korbförmige (Wendelrohr)Verdampfer, selber Anwendungsbereich wie Kurzwegverdampfer,
- Fallfilmverdampfer, Einsatz zur Aufkonzentration von Harnstoff, Phosphorsäure, Ammoniumnitrat etc. in der Düngemittelindustrie,
- gerührte Dünnfilmverdampfer, Einsatz zur Aufkonzentration, Fraktionierung, zum Desodorieren und zur Strippung bei der Herstellung von Pharmazeutika, Polymeren, organischen und anorganischen Chemikalien.

Verdampfer werden für gewöhnlich in Reihe betrieben, wobei die Kondensationswärme einer Stufe das Kondensat (d. h. das Abwasser) der vorangehenden Stufe erhitzt. Vakuumbetrieb minimiert den Energiebedarf. Normale Betriebsbedingungen sind 12 – 20 kPa und 50 – 60 °C.

Für die Lagerung der Rückstände vor ihrer Entsorgung (oder Recycling) müssen Einrichtungen zur Verfügung stehen.

Anwendung

Eindampfung wird eingesetzt, wenn konzentrierte Abwasserströme gewünscht oder empfehlenswert sind, z. B.:

- um Mutterlaugen und Flüssigkeiten aus Abgaswäschern aufzukonzentrieren, um wertvolle Stoffe zurückzuführen,
- um Feststoffe einzudampfen und auszukristallisieren, entweder um sie zurückzugewinnen oder sie aus dem Abwasserstrom zu entfernen,
- als Vorbehandlung zur Aufkonzentration des Abwasserstroms vor seiner thermischen Verwertung, vor Abwasserverbrennung oder Entsorgung als gefährlicher Abfall.

Eindampfungsanlagen sollten so betrieben werden, dass die notwendige thermische Energie durch Nutzung der Abwärme von den Produktionsprozessen erbracht wird [cww/tm/82].

Ist das Hauptziel die Rückgewinnung von Stoffen, ist vor der Eindampfung eine Vorbehandlung notwendig. Beispiele einer Vorbehandlung sind:

- Zugabe von Säuren, Laugen etc., zur Erniedrigung der Flüchtigkeit von molekularen Verbindungen,
- Abtrennung unlöslicher, freier Flüssigkeitsphasen, z. B. Öl,
- chemische/physikalische Verfahren zur Abtrennung von Schwermetallen und/oder anderen Feststoffen.

Wenn das Konzentrat nicht recycelt wird, sind weitere Behandlungsschritte notwendig, z. B. Verbrennung nach Eindampfung.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Fouling	Wärmetauscher neigen zu Fouling
Korrosion	Verdampferapparat und Wärmetauscher sind gegenüber korrosiven Stoffe empfindlich
Stoffe	Schäumende Stoffe und kolloidale und suspendierte Partikel stören den Prozess; flüchtige anorganische/ organische Stoffe verdampfen mit

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Stoffrückgewinnung möglich. • Ermöglicht Entfernung refraktärer und/oder toxischer organischer Verbindungen. • Verringert Abwassermenge. • Verringert Menge und Volumen gefährlichen Abfalls.	• Rückstande müssen entsorgt werden, falls nicht geeignet zur Rückführung, für gewöhnlich durch Verbrennung • Flüchtige Verunreinigungen verunreinigen das Kondensat (zieht nachfolgende Behandlung nach sich) oder werden als Abgas emittiert. • Anfällig gegenüber Fouling, Korrosion und Schäumen. • Hoher Energieverbrauch.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Eliminationsgrad [%]	Bemerkungen
Verunreinigungen	99 [1]	Keine Kondensatrückführung
[1] [cww/tm/128]		

Medienübergreifende Wirkungen

Eindampfung ist gewöhnlich ein ‘abwasserfreies’ Verfahren, da das Kondensat – mit oder ohne weitere Behandlung – zurückgeführt und das Konzentrat zurückgeführt oder als Abfall entsorgt wird, z. B. durch Verbrennung.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Chemikalien für Vorbehandlung	
Dampf (für Heizung)	5–16 kg Wasser/kg Dampf
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Ein entscheidender Punkt ist die richtige Wartung der Wärmetauscher. Verkrustungen, Fouling und Korrosion stören die Wärmeübertragung auf die Flüssigkeit und verringern die Energieeffizienz. Die Konzentrationen der Verunreinigungen oder Leitparameter (TOC, pH, Leitfähigkeit etc.) im Kondensat müssen kontinuierlich überwacht werden, um den Übergang von Schadstoffen zu vermeiden.

Ökonomische Daten

Die Kosten sind:

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten	100-2000 BEF pro m^3 Kondensat [1]	
[1] [cww/tm/128]		

3.3.4.2.14 Strippung

Beschreibung

Bei der Abwasserstrippung wird Abwasser mit einem Gasstrom hoher Geschwindigkeit in Kontakt gebracht, um flüchtige Schadstoffe aus der Abwasserphase in die Gasphase auszutreiben. Die Schadstoffe werden wieder aus dem Strippgas entfernt, damit dieses wieder in den Prozess zurückgeführt und wieder verwendet werden kann. Indem die Oberfläche des verunreinigten Wassers deutlich vergrößert wird, werden flüchtige organische und anorganische Stoffe vom Abwasser in die Gasphase überführt. Durch die Verdampfung von Wasser wird jedoch die Abwassertemperatur, und damit die Flüchtigkeit der Verunreinigungen erniedrigt.

Als Gase werden Luft und Dampf eingesetzt:

- Luftstrippung kann mit oder ohne Beheizung der Strippkolonne betrieben werden. Letztere wird bei stark flüchtigen und temperaturempfindlichen Verbindungen eingesetzt. Die notwendige Heizenergie wird für gewöhnlich durch Nutzung der Prozesswärme geliefert.
- Als Alternative zur Luftstrippung wird bei Verbindungen, die weniger flüchtig und/oder weniger empfindlich sind, Dampfstrippung eingesetzt. Dampf wird für gewöhnlich von bereits am Standort vorhandenen Dampferzeugungsanlagen oder durch Nutzung von Abwärme erzeugt. Falls keine Dampferzeugungsanlagen existieren, ist möglicherweise eine Dampfstrippung wirtschaftlich nicht durchführbar.

Die häufigsten Strippanlagen sind:

- Füllkörperstrippkolonnen, bei denen mittels Sprühdüsen am Kopf das Abwasser über die Füllkörper verteilt wird. Das Strippgas wird im Gegenstrom durch die Füllkörper geführt. Das gereinigte Wasser wird im Bodensumpf gesammelt. Außerdem ist die Anlage mit einer Heizung für die Luft (für Luftstrippung), einem automatisierten Regelsystem und einer Abluftbehandlungsanlage (GAK-Anlage, katalytische Oxidation oder Verbrennungsofen) ausgerüstet.
- Strippbehälter, bei denen die flüchtigen Verbindungen durch Gasbläschen (Luft, Dampf) in einen Abwasser führenden Behälter gestrippt werden.

Die Ausrüstung besteht aus:

- einem Puffertank für das Abwasser,
- einem Behälter für die Vorbehandlung durch pH-Einstellung,
- im Gegenstrom betriebenen Strippkolonne(n),
- die Abwärme des nachfolgenden Stripdampfkondensators nutzenden Vorwärmer für den Zulauf,
- luft- oder wassergekühltem Kondensator,
- nachgeschalteten Anlagen zur Abgasbehandlung.

Stripper können kontinuierlich oder chargenweise betrieben werden. Letzteres garantiert eine entsprechende Leistung und bessere Energieeffizienz als kontinuierlich betriebene Anlagen.

Die nachfolgende Entfernung flüchtiger Schadstoffe aus der Gasphase kann bewerkstelligt werden durch:

- Adsorption auf GAK, Zeolit oder Kunstharzen,
- Adsorption in nicht wässrigen Lösemitteln und nachfolgender Desorption,
- Adsorption in wässrigen Lösungen, wie starken Säuren (um Ammoniak zu absorbieren),
- Kondensation oder Teilkondensation und nachfolgende weitere Behandlung,
- thermische oder katalytische Oxidation.

Die Luft- /Dampfstrippung von Ammoniak, ist als ein Beispiel eines Strippverfahrens in Abbildung 3.26 dargestellt [cww/tm/78].

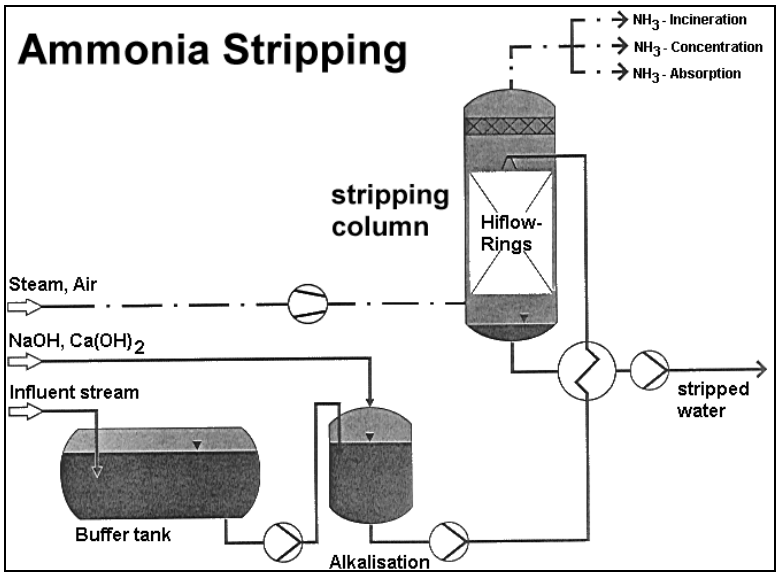

Abbildung 3.26: Strippung von Ammoniak, Luft- und Dampfstrippung
Alkalisation = Alkalisierung; Ammonia Stripping = Ammoniumstrippung; Buffer Tank = Puffertank; Hiflow-Rings = Hiflow-Ringe; Influent stream = Zulauf; Stripping column = Strippkolonne; NH_3-Absorption = NH_3 – Absorption; NH_3-Concentration = NH_3 – Konzentration; NH_3-Incineration = NH_3-Verbrennung; Steam, Air = Dampf, Luft; Stripped water = gestripptes Abwasser

Anwendung

Die Strippung wird zur Abtrennung flüchtiger Verunreinigungen aus dem Abwasser eingesetzt, z. B.:

- chlorierter Kohlenwasserstoffe, wie Trichlorethen, Perchlorethen, Trichlormethan, Dichlorethan, Trichlorethan,
- Ammoniak und Schwefelwasserstoff, deren Flüchtigkeit stark von Temperatur und pH abhängig ist, deshalb ist pH-Kontrolle wesentlich (pH > 9.5 bei Ammoniak, pH 2-3 bei Schwefelwasserstoff),
- Ammoniak und Schwefelwasserstoff gemeinsam in einer zweistufigen Dampfstrippanlage [cww/tm/149],
- organische Lösemittel, Benzin, Dieselkraftstoff, niedrige Aromaten, Phenol, Merkaptane.

Ob Luft- oder Dampfstrippung eingesetzt wird, hängt ab von:

- der Empfindlichkeit der Verunreinigungen,
- ob die Verunreinigungen zurückgewonnen werden sollen,
- der Verfügbarkeit von Dampf,
- Sicherheitsbedingungen (nur ein Thema bei hohen Frachten von VOCs), etc.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Fouling	Wärmetauscher neigen zu Fouling
Suspendierte Feststoffe	<5 ppm

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Eliminationsraten. • Stoffrückgewinnung möglich. • Geringer Druckverlust. • Geringer Energieverbrauch.	• Unter bestimmten Bedingungen (Eisen >5 mg/l, Wasserhärte > 800 mg/l) hohe Anfälligkeit für Fouling (z. B. Sauerwasserstripper in Raffinerien). Deshalb Einspritzen von Antifouling-Hilfsmitteln notwendig. • Strippgas muss behandelt werden. • Häufige Reinigung der Säule erforderlich.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Eliminationsgrad [%]		Emissionswert [mg/l]		Bemerkungen
	Luft	Dampf	Luft	Dampf	
Ammoniak			<5 [1]		Raffinerie: geringe Zulaufkonzentration und optimale Bedingungen (Beispiele: Sauerwasserstrippung)
		99 [2]		<50 [2]	Zulauf 10 g/l
	>92 [4]		70 [4]		Filtrat aus der Behandlung von Belebtschlamm, Zulauf 500-1200 mg/l, Zulaufmenge 19-24 m^3/h
NH_4-N				5 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 1372 mg/l NH_4-N [a]
Anorganischer Gesamt-N				7 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 1373 mg/l anorganischer Gesamt-N
Flüchtige organische Stoffe	99 [1]				Zulaufmenge 1 m^3/h, Konzentration 2 g/l (Dichlormethan, Trichlormethan, Benzol, Toluol, Xylol, Ester, Ether
Methanol		97			Zulaufmenge 3.4 m^3/h, Konzentration 36 g/l
Chlormethan				<1 [1]	Zulaufmenge 6 m^3/h, Konzentration >200 mg/l
Dichlormethan		99 [1]			Zulaufmenge 4 m^3/h, Konzentration 5 g/l
Tetrachlormethan	90-98 [2]				Füllkörperkolonne, Luft/Wasser 5-35:1
1,2-Dichlorethan	65 [2]				Füllkörperkolonne, Luft/Wasser 35:1
Trichlorethen	69-92 [2]				Füllkörperkolonne, Luft/Wasser 4-30:1
	90 [2]				Sprüh-Belüftung
Perchlorethen	95 [2]				Füllkörperkolonne, Luft/Wasser 5:1
	90 [2]				Sprüh-Belüftung
Methylal		99 [1]			Zulaufmenge 4 m^3/h, Konzentration 30 g/l
Kohlenwasserstoffe				1,1 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 98 mg/l Kohlenwasserstoffe
BTX		>99 [1]			Zulauf 400 m^3/h, Konzentration 500-1000 mg/l BTX
Schwefelwasserstoff			<20		Raffinerie: Strippung saurer Gase
Merkaptane			<20		Raffinerie: Strippung saurer Gase
Phenole		99-99,6 [5]		50-200 [5]	Zulauf 7-8 m^3/h, Konzentration 20-40 g/l
				0,1 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 182 mg/l Phenol
Sulfid				0,5 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 1323 mg/l Sulfid
CSB				37 [3]	Raffinerie: 2-stufiges Verfahren, Zulauf 14400 mg/l CSB

[a] gestrippter Ammoniak wird zu einer 10 % igen Lösung aufkonzentriert und bei $DeNO_x$-Verfahren in anderen Anlagen eingesetzt
[1] [cww/tm/82]
[2] [cww/tm/27]
[3] [cww/tm/149]
[4] [cww/tm/146]
[5] [cww/tm/96]

Medienübergreifende Wirkungen

Strippung wird nicht als isoliertes Verfahren eingesetzt. Es bedarf zumindest einer nachgeschalteten Abgasbehandlung. Die entfernten flüchtigen Stoffe werden entweder in einen Produktionsprozess zurückgeführt oder behandelt (Wäsche, Adsorption, thermische oder katalytische Oxidation). Allgemein gesprochen ist die Behandlung des Strippgases ein wesentlicher Verfahrensschritt und manchmal komplizierter als das Strippverfahren selbst. Für eine insgesamt effiziente Behandlung müssen Strippstufe und Strippgasbehandlung sehr sorgfältig aufeinander abgestimmt werden.

Falls die erreichten Emissionswerte für das Abwasser nicht ausreichen (vgl. die erreichbaren Emissionswerte), kann eine weitere nachgeschaltete Behandlung notwendig werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge	
	Luft-Strippung	Dampf-Strippung
Chemikalien zur pH-Einstellung (Säure, Natronlauge, Kalk)	stöchiometrisch	stöchiometrisch
Antifouling-Hilfsmittel		
Dampf		0,1-0,3 Tonnen/m^3 [1,2,]
Energie [kWh/m^3]		680 [3 b]
elektrische	1,8 [4 a]	
Gas (Heizung) [m^3 Gas/m^3 Wasser]	0,5 [4]	

[a] motorbetriebene Ausrüstung, wie Pumpen und Ventile
[b] einschließlich Dampferzeugung
[1] [cww/tm/27]
[2] [cww/tm/82]
[3] [cww/tm/96]
[4] [cww/tm/146]

Überwachung

Die zu überwachenden Parameter sind:

- pH, insbesondere, wenn es sich um Ammoniak oder Schwefelwasserstoff handelt,
- Zulauf,
- Druck,
- Temperatur,
- Kontrolle des Flüssigkeitsstands,
- Rücklaufrate der Kolonne.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten		Bemerkungen
	Luft	Dampf	
Investitionskosten	4 Millionen BEF [1]		100 m^3/h
		80 Millionen BEF [1]	50 m^3/h
	4,0–5,3 Millionen EUR [2]		Sauerwasser-Stripper in Raffinerie, 30-32 m^3/h
		200–300 Tausend GBP [3]	50 m^3/h
Betriebskosten	200/m^3 BEF [1]	200/m^3 BEF [1]	

[1] [cww/tm/128]
[2] [cww/tm/48]
[3] [cww/tm/92]

3.3.4.2.15 Abwasserverbrennung

Beschreibung

Bei der Abwasserverbrennung werden organische und anorganische Verunreinigungen des Abwassers mit Luft oxidiert und gleichzeitig der wässrige Teil bei Normaldruck und einer Temperatur im Bereich zwischen 730 und 1200 ºC eingedampft, oder, wenn Katalysatoren eingesetzt werden, unterhalb dieses Bereiches. In der chemischen Industrie wird Abwasserverbrennung häufig zentral oder als Mitverbrennung in Abfallverbrennungsanlagen betrieben. Reaktionsprodukte sind, abhängig von den vorhandenen Verunreinigungen, Kohlendioxid, Wasser und andere anorganische Verbindungen (Stickstoffoxide, Schwefeloxide, Halogenwasserstoffe, Phosphate, Schwermetallverbindungen).

Abwasserverbrennung läuft nur dann selbsttätig, wenn die organische Fracht ausreicht, um eine angemessene Energieversorgung für Verdampfung und Heizung des Wassers sicherzustellen (CSB >50 g/l). Bei geringen organischen Belastungen muss die Anlage mit Stützfeuerung betrieben werden. Die zusätzlich erforderliche Energiemenge wird verringert, indem der Wassergehalt gesenkt wird, z. B. durch vorgeschaltete Eindampfung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2.13), unter Nutzung der Abwärme. Der Einbau eines Dampfkessels kann ein günstiger Weg sein, um den zur Eindampfung notwendigen Dampf aus der Verbrennungswärme zu gewinnen [cww/tm/132].

Anlagen zur Abwasserverbrennung können als gewöhnliche Verbrennungskammer oder Wirbelbettverbrennungsöfen ausgeführt sein. Stabilität und Korrosionsbeständigkeit stellen hohe Anforderungen an das Material der Anlage. Verbrennungskammern bestehen häufig aus keramischen Stoffen.

Die Verbrennung von Abwasser kann auch in einer gewöhnlichen Abfallverbrennungsanlage durchgeführt werden - mit Abwasser als zusätzlichem Input. Um dispergierte Teilchen, die eine maximale Größe überschreiten, zu entfernen und um eine Verblockung der Düsen zu vermeiden, kann Vorbehandlung erforderlich sein.

Anwendung

Verbrennung wird für gewöhnlich eingesetzt, wenn das Abwasser Verunreinigungen enthält, die biologisch nicht leicht abbaubar sind oder überhaupt nicht biologisch abbaubar sind (z. B. anorganische Inhaltsstoffe), welche die biologischen oder physikalisch-chemischen Verfahren einer nachgeschalteten AWBA stören oder schädliche Eigenschaften haben, die eine Einleitung in eine gewöhnliche Abwasserkanalisation nicht zulassen. Solche Inhaltsstoffe sind z. B.:

- wässrige Rückstande aus der Herstellung von Farbstoffen,
- extrem mit Salzen belastete wässrige Rückstände aus der Herstellung von Kautschuk,
- wässrige Extrakte aus der Herstellung von Pestiziden,
- wässrige Rückstände aus der Herstellung von Polyester.

Abwasserverbrennung wird gegenüber anderen Behandlungstechniken, die dem gleichen Zweck dienen bevorzugt, wenn diese nicht funktionieren oder sich als unwirtschaftlich herausstellen. Sie ist insbesondere geeignet, wenn [cww/tm/132]:

- die organischen Bestandteile nicht wieder verwendet werden können oder wenn deren Rückführung unwirtschaftlich ist;
- die Verunreinigungen aus einer Mehrkomponentenmischung bestehen, bei der ständig sowohl die Konzentration als auch das Mischungsverhältnis wechseln;
- neben organischen Inhaltsstoffen beträchtliche Mengen anorganischer Stoffe vorkommen;
- das Abwasser biologisch schwer abbaubar oder toxisch ist;
- der Salzgehalt für eine biologische Behandlung zu hoch oder diese nur nach beträchtlicher Verdünnung möglich ist;
- die Verbrennung eine Rückführung nicht zerstörbarer Stoffe des Zulaufes ermöglicht, z. B. von Salzen, oder zu wertvollen Produkten führt.

Für die Verbrennung sind im allgemeinen Abwasserströme im Bereich zwischen 2 und 30 m^3/h mit CSB-Konzentrationen zwischen 50000 und 100000 mg/l geeignet. Geringere Konzentrationen erfordern Stützfeuerung.

Abwasser mit geringer Verbrennungswärme kann zur gemeinsamen Verbrennung mit Abfall in Drehrohröfen eingespritzt werden.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Halogene, Schwefel	Halogen- und Schwefelgehalt erfordern spezielle Rauchgasbehandlung
Verbrennungstemperatur	Mit zunehmender Verbrennungstemperatur Zunahme von Stickstoffoxiden
Feststoffe, Salze	Können die Einspritzdüsen verstopfen, deshalb passende Ausrüstung erforderlich

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Nahezu vollständige Elimination organischer Inhaltsstoffe. • Elimination der Schadstoffe auch bei hohen Salzkonzentration möglich. • Abwärme kann genutzt werden.	• Geringe organische Konzentrationen machen Stützfeuerung notwendig. • Fester Abfall (Boden und Flugaschen) muss entsorgt werden. • Verbrennung Schwefel- und/oder halogenhaltiger Verbindungen kann Rauchgasbehandlung erforderlich machen und so Abwasser und festen Abfall erzeugen.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
TOC	>99 [1]		
VOC	92 [2]	30 [2]	Zulauf 375 mg/l, katalytische Verbrennung

[1] [cww/tm/82]
[2] [cww/tm/96]

Die erreichbaren Emissionswerte und Eliminationsgrade der Tabelle sind vom zu verbrennenden Abwasserstrom abhängig. Die Emissionen in die Luft und die Einleitungen von Abwasser aus der Reinigung der Abgase sind in den Anhängen II, IV und V der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EC [cww/tm/155] geregelt. Weitere Informationen sind vom BREF über Abfallverbrennung zu erwarten.

Medienübergreifende Wirkungen

Abwasserverbrennung führt zu Abgas (die Verbrennungsgase enthalten möglicherweise HCl, SO_x, NO_x etc.), welches abhängig von seinen Inhaltsstoffen einer weiteren Behandlung bedarf, wobei zusätzlich Abwasser und fester Abfall anfällt. Wenn das Verfahren nicht autotherm betrieben werden kann, ist Stützfeuerung notwendig. Auf der anderen Seite, wenn die Abwärme nicht rückgewonnen oder wieder verwendet werden kann, wird Abwärme in die Umwelt freigesetzt.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Brennstoff für Stützfeuerung (niedriger TOC-Gehalt) [a]	4,5 kg/m^3 Abwasser 12,5 kg/kg VOC [1]
Energie [kWh/m^3] [b]	0,09 [1]

[a] leichtes Heizöl, 375 mg/l organische Inhaltsstoffe, katalytische Verbrennung
[b] elektrische Energie für Pumpen, Brenner, etc.
[1] [cww/tm/96]

Überwachung

Um eine fehlerfreie Funktion zu garantieren, ist während des gesamten Verfahrens eine sorgfältige Überwachung der Betriebsparameter, wie Sauerstoffgehalt, Temperatur, Gehalt an Schwefeloxiden, Stickstoffoxiden, Halogenwasserstoffen, Staub, erforderlich.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten	2,4 FIM/m^3 6,6 FIM/kg VOC [1]	8 m^3/h, VOC-Konzentration 375 mg/l, katalytische Verbrennung
[1] [cww/tm/96]		

3.3.4.3 Lösliche, biologisch abbaubare Verunreinigungen / Biologische Behandlung

Der Hauptproduktionslinie der chemischen Industrie ist die Herstellung und der Umgang mit organischen Stoffen. Deshalb ist der größte Teil des Abwassers der chemischen Industrie mit organischen Verunreinigungen belastet, die mehr oder weniger biologisch abbaubar und für die biologische Behandlungstechniken geeignet sind. Stoffe, die den biologischen Abbau stören können, müssen vorher entfernt werden (vgl. Abschnitt 3.3.4.2).

Bei der biologischen Behandlung werden gelöste organische Stoffe durch Mikroorganismen (Bakterien) als Oxidationsmittel abgebaut. Organische Stickstoff- und Phosphorverbindungen werden jeweils in Ammonium und Phosphat umgewandelt. Als Faustregel kann die biologische Abbaubarkeit eines Abwasserstroms mittels seines BSB/CSB-Verhältnisses (vor Behandlung) abgeschätzt werden:

- BSB/CSB <0,2 verhältnismäßig schlecht abbaubares Abwasser,
- BSB/CSB 0,2–0,4 gut bis mäßig abbaubar,
- BSB/CSB >0,4 gut abbaubar.

Es gibt drei Arten von metabolischen Prozessen:

- aerobe Prozesse, die gelösten Sauerstoff verarbeiten,
- anoxische Prozesse, welche die biologische Reduzierung von Sauerstoffdonatoren nutzen,
- anaerobe Prozesse unter Sauerstoffabschluss.

Die wichtigsten Eigenschaften dieser drei metabolischen Prozesse bei der Abwasserbehandlung sind in Tabelle 3.8 aufgelistet [cww/tm/132].

Parameter	Anaerob	Anoxisch	Aerob
Gelöster Sauerstoff (DO) [mg/l]	0	0	>0
Energieverbrauch	gering	gering	hoch
Schlammanfall	gering	gering	hoch
Empfindlichkeit gegenüber toxischen Stoffen	hoch	gering	gering
CSB-Eliminationsrate	<85 % [a]	unterschiedlich, abhängig von Denitrifikation	>85 %
Stickstoff-Eliminationsrate	0	45-90 % (Nitrifikation als erste Stufe erforderlich)	0
Eignung als Vorbehandlung	ja	ja	ja
Eignung als abschließende Behandlungsstufe	nein	nein	ja
[a] normaler Wert, kann bei speziellen Anwendungen höher sein (vgl. Abschnitt 0, erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade)			

Tabelle 3.8: Anaerobe, anoxische und aerobe Biologie und spezifische, für gewöhnlich damit verbundene Prozessparameter

In Abbildung 3.27 ist die Kohlenstoff-Bilanz aerober und anaerober Prozesse vergleichend dargestellt [cww/tm/132].

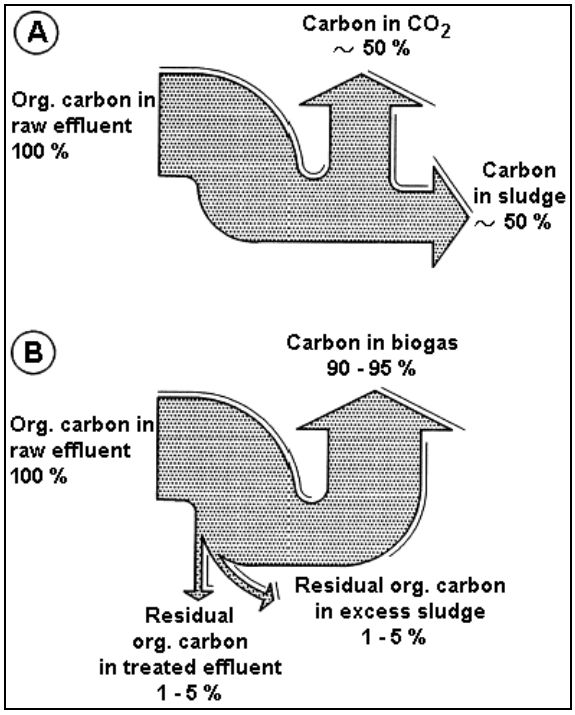

Abbildung 3.27: Kohlenstoff-Bilanzen des aeroben (A) und anaeroben (B) mikrobiologischen Abbaus organischer Verbindungen

A

Carbon in CO_2 = Kohlenstoff im CO_2; Org.carbon in raw effluent = Org. Kohlenstoff im Rohabwasser; Carbon in sludge = Kohlenstoff im Schlamm;

B

Carbon in biogas = Kohlenstoff im Biogas; Org.carbon in raw effluent = Org. Kohlenstoff im Rohabwasser; Residual org. carbon in excess sludge = Im Überschussschlamm verbleibender org. Kohlenstoff; Residual org.carbon in treated effluent = Im behandelten Abwasser verbleibender org. Kohlenstoff

Ein Vorteil der biologischen Abwasserbehandlung – unabhängig von der Art des metabolischen Prozesses – ist die mehr oder weniger schnelle Verfügbarkeit der Mikroorganismen für ein breites Spektrum von Nährmedien.

In den folgenden Abschnitten werden in der chemischen Industrie übliche biologische Behandlungstechniken behandelt.

3.3.4.3.1 Anaerobe Behandlung

Beschreibung

Bei der anaeroben Abwasserbehandlung werden organische Abwasserinhaltsstoffe mit Hilfe von Mikroorganismen unter Luftabschluss zu einer Reihe von Produkten, wie Methan, Kohlendioxid, Sulfid etc. umgewandelt. Das Biogas besteht zu etwa 70 % aus Methan, 30 % Kohlendioxid und anderen Gasen, wie Wasserstoff und Schwefelwasserstoff [cww/tm/128]. Das Verfahren wird in luftdichten gerührten Reaktorbehältern durchgeführt, die Mikroorganismen werden als Biomasse (Schlamm) im Behälter zurückgehalten.

Mehrere Reaktortypen stehen zur Verfügung. Die am häufigsten eingesetzten sind:

- anaerober Kontaktreaktor (ACR),
- UASB-Reaktor (aufwärts durchflossenes Schlammbett),
- Festbettreaktor,
- Wirbelbett-Reaktor.

Beim **anaeroben Kontaktverfahren** (ACP) wird das Abwasser mit dem zurückgeführten Schlamm gemischt und in einem geschlossenen Reaktor vergärt. Das Abwasser-/Schlamm-Gemisch wird außerhalb des Reaktors getrennt (Sedimentation, Abschnitt 3.3.4.1.2, oder Vakuumflotation Abschnitt 3.3.4.1.3) und der Überstand einer weiteren nachgeschalteten Behandlung zugeleitet. Der anaerobe Schlamm wird in den Reaktor zurückgeführt [cww/tm/4]. Abbildung 3.28 gibt einen schematischen Überblick.

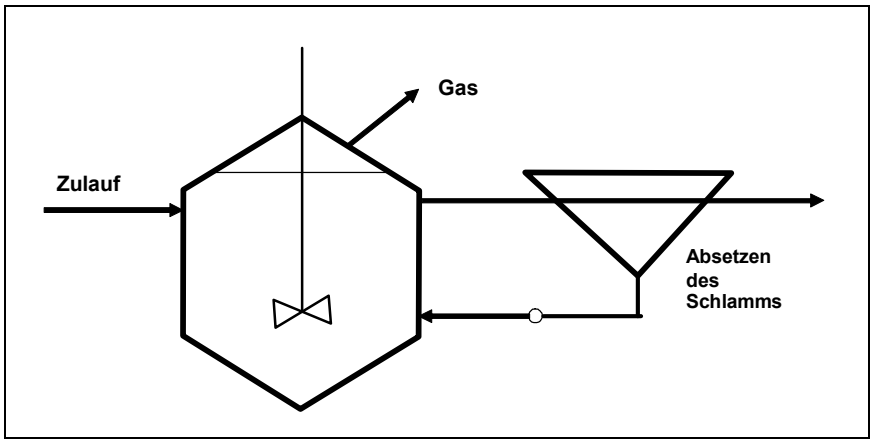

Abbildung 3.28: Anaerobes Kontaktverfahren

Beim **UASB-Verfahren** wird das Abwasser am Boden des Reaktors zugeführt, von wo aus es aufwärts durch ein Schlammbett strömt, das aus biologisch gebildeten Körnern oder Partikeln besteht. Die entstehenden Gase sorgen für eine Vermischung des Abwassers. Die Abwasserphase fließt in eine Absetzkammer, wo die festen Inhaltsstoffe abgetrennt werden. Die Gase werden am oberen Ende des Reaktors in Domen gesammelt [cww/tm/4]. Das Prinzip ist in Abbildung 3.29 dargestellt [cww/tm/132].

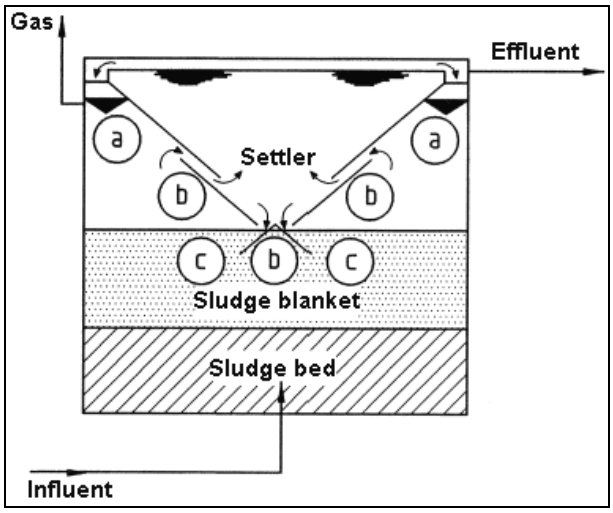

Abbildung 3.29: Schematische Darstellung des UASB-Verfahrens
a) Schlamm/Flüssigkeit-Zulauf
b) Gassiebe
c) Wiedereintritt des abgesetzten Schlammes
Effluent = Ablauf; Gas = Gas; Influent = Zulauf; Settler = Absetzbecken; Sludge bed = Schlammbett; Sludge blanket = Schlammdecke

Beim **Festbett-** oder **Anaerobfilter-Verfahren** fließt das Abwasser (abhängig vom Feststoffgehalt des Zulaufs) aufwärts oder abwärts durch eine mit verschiedenen Arten fester Materialien gefüllte Säule, auf denen die anaeroben Mikroorganismen wachsen und zurückgehalten werden. [cww/tm/4].

Beim **Wirbelbett-Verfahren** wird das Abwasser aufwärts durch ein Bett aus einem geeigneten Medium (Sand, Kohle, Polyethylen, etc.) gepumpt, auf dem sich in einem Biofilm ein biologischer Aufwuchs gebildet hat. Der Ablauf wird, zur Verdünnung des zulaufenden Abwassers und zur Aufrechterhaltung des Wirbelbett-Zustands und um einen ausreichenden Fluss aufrecht zu erhalten, zurückgeführt [cww/tm/4].

Überschüssige Biomasse wird von der Oberfläche abgetragen und nach dem Bioreaktor behandelt. Da die Träger des Biofilms für eine hohe Biomassekonzentration innerhalb des Reaktors sorgen, ist eine Schlammrückführung nicht erforderlich. Der Vorteil dieser Art der anaeroben Behandlungsverfahren besteht im bei gleicher Leistung verringerten Raumbedarf. Das System ist unempfindlicher gegenüber vorübergehenden Belastungsspitzen, die ansonsten toxische Einleitungen verursachen könnten.

Um den Wirkungsgrad der anaeroben Behandlung zu steigern, wird ein zweistufiges Verfahren vorgestellt. Dies ist in Abbildung 3.30 dargestellt.

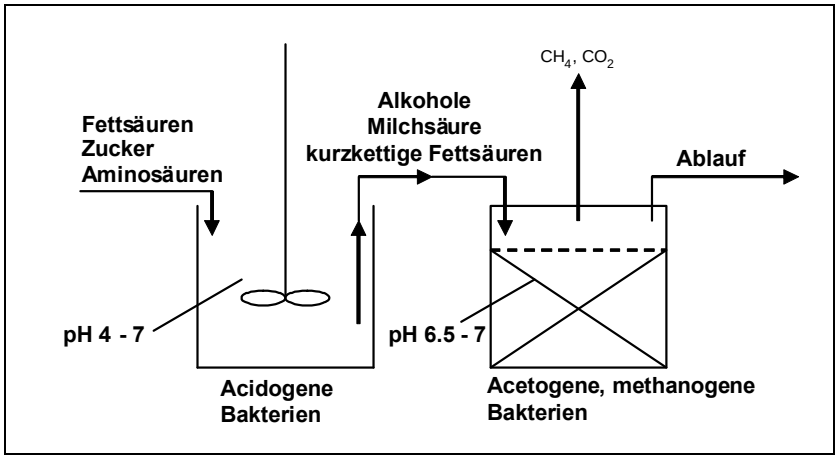

Abbildung 3.30: Schematische Darstellung eines zweistufigen anaeroben Behandlungsverfahrens

Anwendung

Anaerobe Abwasserbehandlung wird im Wesentlichen nur zur Vorbehandlung von Abwasser mit hoher organischer Belastung (>2 g/l) und mehr oder weniger konstanter Zusammensetzung eingesetzt [cww/tm/132]. Sie ist hauptsächlich in Bereichen mit gleichmäßig anfallenden Abwasserströmen mit hohen BSB-Belastungen anwendbar.

Die anaerobe Behandlung von Industrieabwasser hat in den zurückliegenden Jahren aufgrund steigender Energiekosten und Problemen mit der Entsorgung des bei aeroben Behandlungsverfahren gebildeten Überschussschlamms zunehmend an Bedeutung gewonnen. Man bemüht sich nun, unter Nutzung des Vorteils der Bildung von Biogas, die organischen Verunreinigungen so weit möglich ohne externe Energiequellen zu eliminieren. Der gewünschte Reinheitsgrad wird dabei schließlich mit Hilfe nachfolgender aerober biologischer Klärstufen erreicht [cww/tm/132].

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Temperatur	20–40 °C
pH	6,5–7,5, pH > 8 stoppt Methan bildende Prozesse
Toxische Stoffe	Vermeidung toxischer Stoffe, da Prozess empfindlich ist

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• im Vergleich zu aeroben Verfahren geringer Energieverbrauch. • Anfall eines energiereichen Gases. Als Brennstoff geringer Qualität ist dies wahrscheinlich ausschließlich am Standort einsetzbar. • Vergleichsweise (zum aeroben Verfahren) geringe Klärschlammmenge (ein Zehntel des aeroben Verfahrens) (vgl. Abbildung 3.27). • In Gegenwart von Sulfat oder organischen Schwefelverbindungen werden Schwermetallverbindungen zu Sulfiden umgewandelt und gefällt. • Keine Aerosolbildung und keine Strippung flüchtiger Stoffe (im Gegensatz zu aeroben Verfahren).	• Hohe Empfindlichkeit gegenüber toxischen Stoffen. Dies kann bei Auftreten toxischer Stoffe zu erhöhten Einleitungen von Belebtschlamm führen. • Anfall toxischer, entflammbarer und geruchsintensiver Abgase möglich. • Sehr langsame Startphase. Eliminationsgrad nicht für abschließende Behandlungsstufe geeignet (CSB-Elimination für gewöhnlich < 85 %), deshalb weitere Behandlung notwendig.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Prozess	Zulauf CSB [g/l]	Rückhaltezeit [h]	Organische Belastung [kg/(m^3 d)]	CSB-Elimination [%]
ACP [1]	1,5–5	2–10	0,48–2,40	75–90
UASB [1]	5–15	4–12	400–12,0	75–85
Festbett [1]	10–20	24–48	0,96–4,81	75–85
Wirbelbett [1]	5-10	5-10	4,81–9,62	80–85
[1] [cww/tm/4]				

Der CSB-Eliminationsgrad ist stark von der biologischen Abbaubarkeit der für die CSB-Fracht verantwortlichen organischen Stoffe abhängig. Deshalb ist die wichtigste Anforderung für eine anaerobe Behandlung – wie für alle biologischen Behandlungen – dass der Anfall nicht abbaubarer Abwasserströme so weit wie möglich vermieden wird.

In Kombination mit nachgeschalteter aerober Behandlung werden folgende Gesamteliminationsgrade erreicht:

Parameter	Eliminationsgrad [%]
BSB	99–99,8
CSB	95–97

Medienübergreifende Wirkungen

Anaerobe Verfahren werden für gewöhnlich als biologische Hochlaststufen betrieben, die eine zusätzliche nachgeschaltete biologische (aerobe) Behandlung erfordern. Der Vorteil der anaeroben Vorbehandlung besteht in der bei dem Verfahren anfallenden geringen Überschussbelebtschlammmenge - etwa 10 % im Vergleich zum aeroben Belebungsverfahren. Auf diese Weise wird der Hauptteil der abbaubaren organischen Fracht (75- 85 %) mit einem Zehntel des normalerweise (aerob) anfallenden Überschussschlamms eliminiert. Im Vergleich zu aeroben Techniken müssen nur 10 % des Abfalls entsorgt werden.

Der anaerobe Abbauprozess führt zu einer Mischung von Methan und Kohlendioxid in einem Verhältnis von 1 - 3 : 1 und liefert damit ein energiereiches brennbares Gas, das für gewöhnlich als Ersatzbrennstoff oder zur Energieversorgung anderer Einrichtungen eingesetzt wird. Der Energieverbrauch ist im Vergleich zu aeroben Verfahren deutlich geringer, da keine Energie für die Versorgung des Reaktors mit Luft oder Sauerstoff, sondern nur für wirksames Rühren notwendig ist. Insgesamt trägt dies zur Kohlendioxidminderung bei.

Das Entstehen brennbarer Gase und die Bildung von Metaboliten, wie kurzkettige Carbonsäuren, machen den Einsatz geschlossener Anlagen zur Vermeidung ausströmender Gerüche unvermeidbar. Bei einer nachgeschalteten Behandlung ist die Geruchsminderung eine wesentliche Notwendigkeit.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Hilfsstoffe (für Sedimentation, Flotation, etc.)	
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Die Überwachung einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ist in Anhang 7.3 beschrieben.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten	120 Millionen BEF [1]	UASB-Reaktor, 25 m^3/h, CSB, roh 30 g/l
	3,5 Millionen NLG [2]	206 m^3/d, CSB-Rohfracht 7300 kg/d oder 35 g/l
Betriebskosten	40/m^3 BEF [1]	UASB-Reaktor, 25 m^3/h, CSB, roh 30 g/l
	0,3 NLG/m^3 [2] [20000 NLG /a]	206 m^3/d, CSB-Rohfracht 7300 kg/d or 35 g/l
Nutzen (Biogas)	210000 NLG/a [2]	206 m^3/d, CSB-Rohfracht 7300 kg/d or 35 g/l
	1,5 Millionen NLG/a [2]	Im Vergleich zu Verbrennung des Überschussschlamms
[1] [cww/tm/128] [2] [cww/tm/100]		

Eine wirksame Verminderung organischer Verunreinigungen geht mit dem Anfall eines als Brennstoff einsetzbaren Biogases und einer beträchtlichen Verminderung des Überschussbelebtschlamms einher. Unter der Voraussetzung, dass das Biogas eingesetzt werden kann, beeinflussen sich ökologische und ökonomische Daten gegenseitig. Beim Vergleich einer anaeroben Behandlung und abschließender niedrig belasteter aerober Behandlung mit einer hoch belasteten abschließenden aeroben Behandlung einschließlich der damit verbundenen Kosten (Schlammverbrennung oder Deponierung), kommt es langfristig zu einer win-win-Situation.

3.3.4.3.2 Biologische Elimination von Schwefelverbindungen/ Schwermetallen

Beschreibung

Die biologische Elimination von Schwermetallen und Schwefelverbindungen stellt eine besondere Anwendung der anaeroben Behandlung dar. Das dreistufige Verfahren besteht aus:

- der biologischen Reaktion von Sulfat oder anderen oxidierten Schwefelverbindungen zum Sulfid mit Hilfe sulfatreduzierender Bakterien,
- der nachfolgenden Reaktion von Schwermetallen mit Sulfid und Fällung der Schwermetallsulfide,
- einer zweiten biologischen Reaktion zur Elimination des überschüssigen Sulfids und seiner Umwandlung zu Schwefel.

Das Verfahren nutzt die im Vergleich zu ihren Hydroxiden deutlich niedrigere Löslichkeit von Metallsulfiden.

In Abbildung 3.31 ist ein Beispiel einer Behandlungsanlage dargestellt.

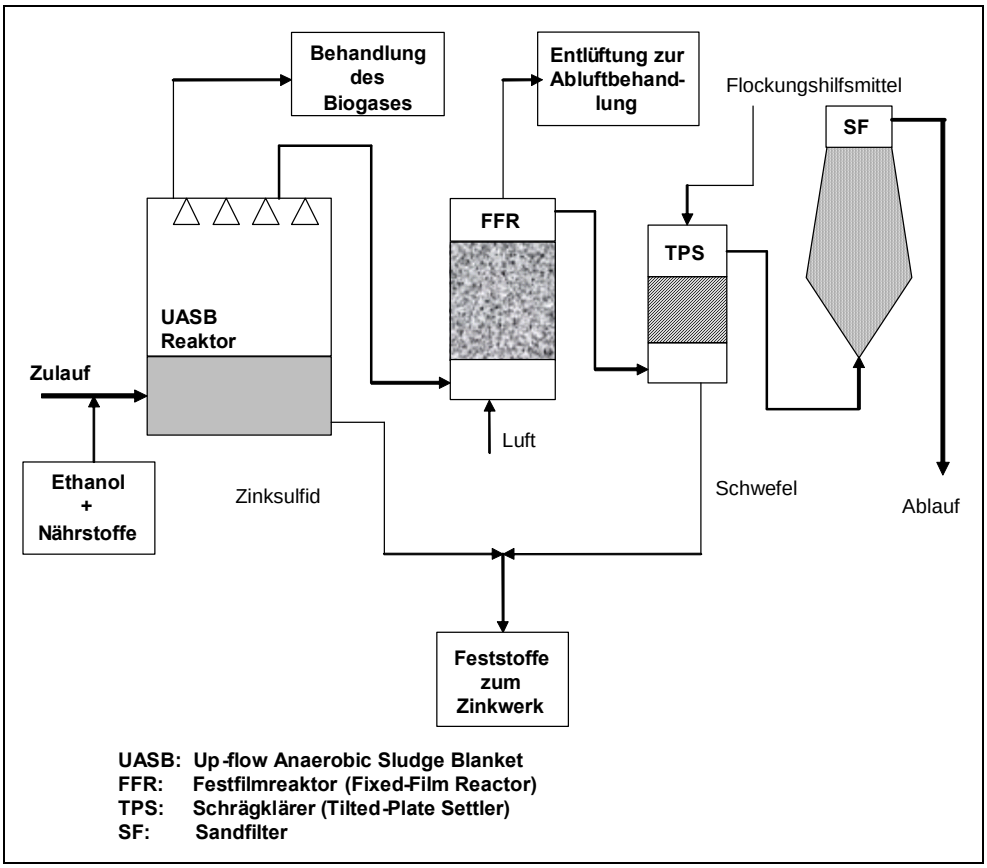

Abbildung 3.31: Verfahrensfließbild einer Anlage zur biologischen Behandlung von Metallen und Sulfat

Die wichtigsten Komponenten sind:

- der UASB-Reaktor, in dem die biologische Reduzierung von Sulfat zum Sulfid stattfindet,
- die Behandlungsanlage für das Biogas, um das aus dem UASB-Reaktor anfallende Abgas zu nutzen oder zu behandeln,
- der Biofilm-Reaktor, in dem Sulfid aerob in Schwefel umgewandelt wird und die Bakterien auf dem Trägermaterial fixiert werden,
- der Schrägklärer zur Abtrennung des Schwefels,
- die abschließende Reinigungsanlage, z. B. ein kontinuierlich gereinigter Sandfilter.

Das biologische Verfahren benötigt Elektronendonatoren. Diese werden für gewöhnlich durch den im Abwasser enthaltenen CSB geliefert. Wenn der CSB-Gehalt nicht ausreicht, müssen Elektronendonatoren zugegeben werden. Mögliche Elektronendonatoren sind z. B.:

- Wasserstoff,
- Stärke,
- Ethanol,
- Ameisensäure,
- Acetatester oder
- Propionsäureester oder –salze,
- Laktate.

Neben diesen können Chemikalienrückstände als Elektronendonatoren eingesetzt werden, wie:

- Holzstaub,
- Melasse.

Wenn der Zulauf neutralisiert werden muss, kann ein Teil des Abwassers nach dem Schrägklärer oder dem Sandfilter zurückgeführt werden, da die Umwandlung von Sulfid zum Schwefel die Säurekapazität (Alkalinität) erhöht.

Die Behandlung des Biogases aus dem UASB-Reaktor und der Entlüftung des Biofilm-Reaktors ermöglicht einen geruchsfreien Anlagenbetrieb.

Anwendung

Dieses biologische Behandlungsverfahren ist bei allen Abwasserströmen anwendbar, die beträchtliche Mengen Sulfat enthalten. Während eine Sulfatelimination ohne Anwesenheit von Schwermetallverbindungen möglich ist, ist für die Verminderung von Schwermetallen ausreichend Sulfat notwendig, damit die notwendige Menge an Sulfid für die Fällungsreaktion geliefert wird. Das Vorhandensein eines ausreichenden CSB-Gehaltes erhöht die Wirksamkeit. Eine mögliche Anwendung ist zum Beispiel Abwasser aus der Herstellung von Viskosefasern, mit Zink, Sulfat und Sulfid als Hauptschadstoffen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Verweilzeit	6 h beim UASB-Reaktor [1]
CSB/Sulfat-Verhältnis	1 : 1, falls der CSB-Gehalt zu niedrig ist, müssen Elektronendonatoren zugefügt werden
Dosierung von Flockungshilfsmitteln in den Schrägklärer (Entfernung des Schwefels)	Dosierung von Flockungshilfsmitteln muss optimal auf den Schrägklärer eingestellt sein, um eine stabile Betriebsweise zu erhalten

[1] [cww/tm/101]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Behandlung von Sulfat ohne Zugabe von Fällungschemikalien. • Gleichzeitige Entfernung von Schwermetallen und Sulfat möglich. • Schwermetalle werden als Sulfide vom Abwasser abgetrennt und können wieder verwendet werden. • Metallsulfide haben geringere Löslichkeit als die entsprechenden Hydroxide, so dass größerer Abwasseranfall bewältigt werden kann. • Am Ende der Kette entsteht Schwefel, der als Rohstoff in Produktionen wieder eingesetzt (z. B. Herstellung von Schwefelsäure) oder zurückgewonnen werden kann. • Auch CSB und Nitrat können eliminiert werden. • Stabiles Verfahren, Schwankungen und Störungen beim Abwasserstrom beeinflussen den Wirkungsgrad kaum.	• Häufig zusätzlicher CSB als Elektronendonator notwendig. Das erhöht die Betriebskosten. • Vermischung der Metallsulfide und dem biologischen Schlamm im UASB-Reaktor. • Elimination von Schwermetallen ohne Sulfat nicht möglich.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswert [mg/l]	Bemerkungen
Zink	99,8 [1]	0,05-0,15	Zulauf 100 mg/l
Cadmium	>99 [1]	<0,01	1 mg/l
Sulfat	94 [2]	75	Zulauf 1170 mg/l, in Gegenwart von Schwermetallen

[1] [cww/tm/102]
[2] [cww/tm/101]

Medienübergreifende Wirkungen

Rückstände des Behandlungsverfahrens sind:

- Schwermetallsulfide, vermischt mit dem Überschussschlamm des UASB-Reaktors, falls Schwermetalle im Abwasserstrom vorhanden sind,
- Schwefel, zumeist vermischt mit Feststoffen aus dem Schrägklärer.

Das Sulfid kann, in Abhängigkeit von der Art der Schwermetalle, wieder verwendet werden, um das Metall zurückzugewinnen. Die Schwefelfraktion, falls getrennt zurückgewonnen, entsteht als Schwefelkuchen, der aus 60 % Trockenmasse mit einer Reinheit von bis zu 95 % besteht. Er kann zur Herstellung von Schwefelsäure in Schwefelsäureanlagen eingesetzt werden, indem die Einrichtungen zur Verbrennung von ‚Abfallschwefelsäuren' oder Slurries genutzt werden.

Das Verfahren arbeitet, aufgrund der aus Sicherheitsgründen erforderlichen Behandlung des Biogases und der Entlüftung, ohne Geruchsemissionen. Die üblichen Quellen der Lärmentstehung sind gekapselte Pumpen und Ventile.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Neutralisationsmittel	
Elektronendonatoren	
Flockungshilfsmittel	
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Der Wirkungsgrad des Behandlungsverfahrens wird durch die richtige Säurekapazität (Alkalinität) und ein optimales CSB/Sulfat-Verhältnis (mindestens 1 : 1) beeinflusst. Die Überwachung des zulaufenden Abwasserstroms auf pH und CSB-Gehalt ist deshalb ein wichtiger Punkt. Es ist auch unerlässlich, dass der Zulauf frei von Feststoffen ist, welche die Schwefelaktiven Bakterien schädigen oder deren Wachstum hemmen. Deshalb müssen dem Zulauf solche Stoffe ferngehalten werden. Der Ablauf wird auf die behandelten Schadstoffe überwacht, wie Schwermetalle, Sulfat, CSB, etc.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.3.4.3.3 Aerobe Behandlung

Beschreibung

Bei der aeroben Behandlung werden gelöste organische Stoffe mit Sauerstoff unter Nutzung des Metabolismus von Mikroorganismen biologisch oxidiert. In Gegenwart von gelöstem Sauerstoff, der als Luft oder Reinsauerstoff eingedüst wird, werden die organischen Bestandteile in Kohlendioxid, Wasser (mineralisiert) oder andere Metaboliten und Biomasse (Belebtschlamm) umgewandelt.

Toxische Abwasserinhaltsstoffe können den biologischen Prozess hemmen. Einige dieser Stoffe sind in Tabelle 3.9 dargestellt [cww/tm/132].

Stoff	Hemmkonzentration [mg/l]
Cadmium (Cd^{2+})	2–5
Bichromat (CrO_4^{2-})	3–10
Kupfer (Cu^{2+})	1–5
Nickel (Ni^{2+})	2–10
Zink (Zn^{2+})	5–20
Chlor (Cl_2)	0,2–1
Cyanid (CN^-)	0,3–2
Mineralöle	>25
Phenol	200–1000
Schwefelwasserstoff / Sulfid	5–30

Tabelle 3.9: Schwellenkonzentration einiger repräsentativer, für Belebtschlamm toxischer Stoffe

Die potentielle Toxizität eines Stoffes in einer biologischen AWBA ist keine vorgegebene Konstante, sondern von den Systembedingungen und den vorhandenen Mikroorganismen abhängig. Der Ausdruck Toxizität bezieht sich auf eine Wechselwirkung zwischen Stoff und Mikroorganismus. Bei gleichmäßig geringen Zulaufkonzentrationen toxischer Stoffe verschwindet die hemmende Wirkung bald aufgrund von Adaptation und führt zum Wachstum von Mikroorganismen mit einer größeren Resistenz und einem höheren Abbaupotential [cww/tm/132].

Übliche aerobe biologische Behandlungstechniken sind:

- Vollständig durchmischtes Belebungsverfahren,
- Biomembranverfahren,
- Tropfkörper- oder Perkolationsfilterverfahren,
- Wirbelschichtverfahren,
- Biofilter-Festbettverfahren.

Das **vollständig durchmischte Belebungsverfahren** ist ein in der chemischen Industrie häufig eingesetztes Verfahren und als solches die häufigste Behandlungstechnik für biologisch abbaubares Abwasser. Die Mikroorganismen werden als Suspension im Abwasser gehalten und das gesamte Gemisch mechanisch belüftet. Die Belebtschlammmischung wird einer Trennanlage zugeführt, von wo aus der Schlamm zum Belüftungsbecken zurückgeführt wird. Trennanlagen können sein:

- Sedimentations- oder Absetzbecken,
- Entspannungsflotationsanlagen,
- MF- oder UF-Membrananlagen (Biomembranreaktor, vgl. Absatz unten).

Das vollständig durchmischte Verfahren wird in mehreren Varianten betrieben, abhängig von der Abwassermenge, dem zur Verfügung stehenden Platz, den Anforderungen an die Abluftemissionen etc. Varianten sind beispielsweise:

- das Oxidationsmittel: Luft oder Reinsauerstoff, wobei letzterer den Vorteil geringerer Strippeffekte und geringerer Geruchsfreisetzungen (da weniger Gas durch das Abwasser geblasen wird) und einer schnelleren und wirksameren biologischen Reaktion bietet;
- die Belüftungskammer: ein mehr oder weniger flaches Biologiebecken oder eine Turmbiologie. Letztere haben den Vorteil eines höheren Abbaugrads, da durch eine hohe Abwassersäule kleinere Luftbläschen aufsteigen und damit den Stoffaustausch Luft/ Abwasser beträchtlich verbessern, vgl. Abbildung 3.32 [cww/tm/132];
- die Nachklärstufe: Sedimentation oder Membranfiltration (Biomembranreaktor, vgl. unten), wobei letztere weniger Platzbedarf hat, erstere wahrscheinlich durch eine abschließende Flotationsstufe zu ergänzen ist.

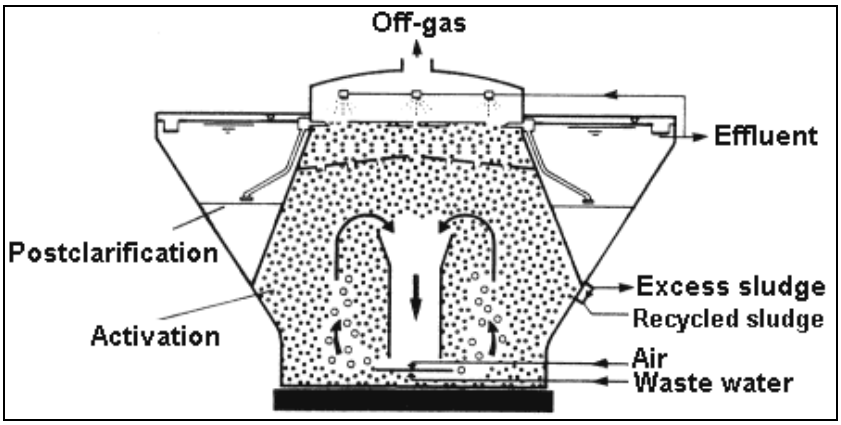

Abbildung 3.32: Beispiel einer Turmbiologie
Activation = Belebung; Air = Luft; Effluent = Ablauf; Excess sludge = Überschussschlamm; Postclarification = Nachklärung; Recycled sludge = Rücklaufschlamm; Off-gas = Abgas; Waste water = Abwasser

Das Biomembranverfahren, eine Kombination eines biologischen Belebungsverfahrens und Membrantrennverfahrens, ist ein für kommunales und industrielles Abwasser eingesetztes biologisches Behandlungsverfahren. Unterschiedliche Varianten dieses Verfahrens sind:

- äußerer Kreislauf zwischen Belebungsbecken und Membranmodul,
- Eintauchen des Membranmoduls in den belüfteten Belebtschlammbehälter, wobei der Ablauf durch eine Hohlfasermembran filtriert wird. Die Biomasse bleibt im Behälter. Diese Variante verbraucht weniger Energie und führt zu kompakteren Anlagen.

Diese Varianten sind zusammen mit dem konventionellen Belebungsverfahren in Abbildung 3.33 dargestellt.

Fouling, als Hauptproblem von Membranen, wird verringert durch:

- Belüftung,
- Rückspülen der Membran,

bei jeweils auf jede Behandlungsanlage abzustimmenden spezifischen Bedingungen.

Als physikalische Barriere ermöglichen die Membranen eine Rückhaltung der Biomasse im Behälter. Dies führt zu:

- hohen Schlammkonzentrationen (10-20 g/l),
- hohem Schlammalter (oder mittlerer Zellverweilzeit).

Ein Biomembranreaktor ist ein kompakte Anlage (bis zu 5 mal kompakter als eine konventionelle Belebtschlammanlage, Membranmodule ersetzen das Nachklärbecken), der bedeutend weniger Überschussschlamm produziert. Auf der anderen Seite kann jedoch durch die Pumpen der Energieverbrauch bedeutend höher sein als bei einem konventionellen Belebungsverfahren.

Beim **Tropfkörper- oder Perkolationsfilterverfahren** sind die Mikroorganismen auf einem gut permeablen Medium fixiert, durch welches das Abwasser tropft - oder perkoliert. Das Filtermedium besteht für gewöhnlich aus Gestein oder verschiedenen Kunststoffsorten. Abbildung 3.34 zeigt ein Übersichtsschema [cww/tm/132].

Die Flüssigkeit wird in einem Entwässerungssystem gesammelt und in einen Absetzbehälter weitergeleitet. Ein Teil der Flüssigkeit wird zurückgeführt, um die Konzentration des zulaufenden Abwassers zu verdünnen.

Das **Wirbelbettverfahren** wird so betrieben, wie dies bereits für die anaerobe Behandlung beschrieben wurde (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.1), mit dem Unterschied, dass Luft oder Sauerstoff zugeführt wird und an Stelle von an-

aeroben aerobe Bakterien auf dem Biofilm fixiert sind. Der Vorteil dieses aeroben Behandlungsverfahrens besteht in dem bei gleicher Leistung geringeren Platzbedarf.

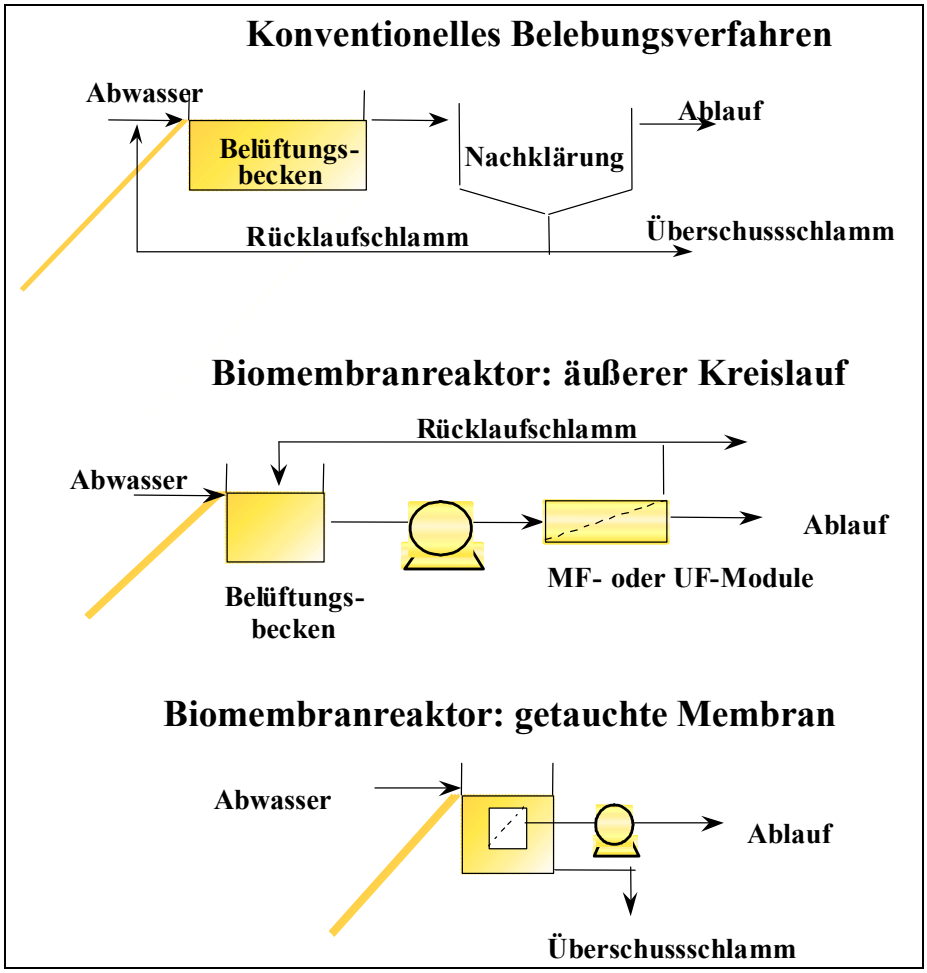

Abbildung 3.33: Varianten des Biomembranreaktors, im Vergleich zum konventionellen Belebungsverfahren

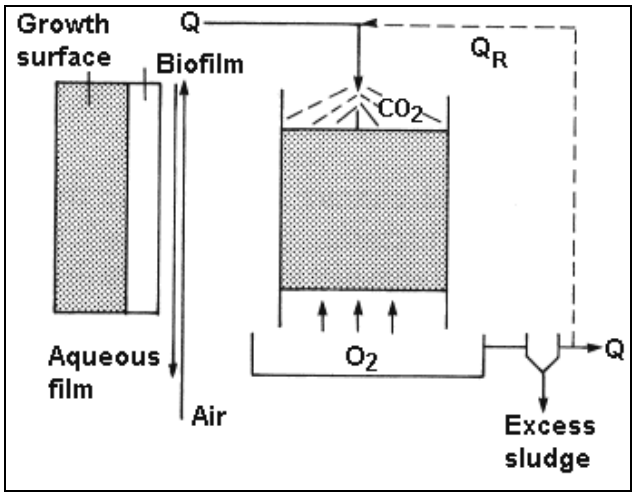

Abbildung 3.34: Übersichtsschema eines Tropfkörpers
Q: Abwasser
Q_R: Rücklaufwasser
Air = Luft; Aqueous film = Wasserfilm; Biofilm = Biofilm; Excess sludge = Überschussschlamm; Growth surface = Aufwuchsfläche

Beim **Biofilterfestbettverfahren** wird der Biofilm auf der Oberfläche eines Trägermaterials gehalten. Die Behandlung des Abwasserstroms erfolgt, während er durch diesen Biofilm fließt. Die suspendierten Feststoffe werden im Filter zurückgehalten, und werden dort regelmäßig rückgespült. Diese Technik wurde als kompakte (hohe Umsatzrate pro Volumeneinheit und Verzicht auf Nachklärung) und geruchsfreie Alternative zum konventionellen Belebungsverfahren entwickelt (vgl. Abbildung 3.35).

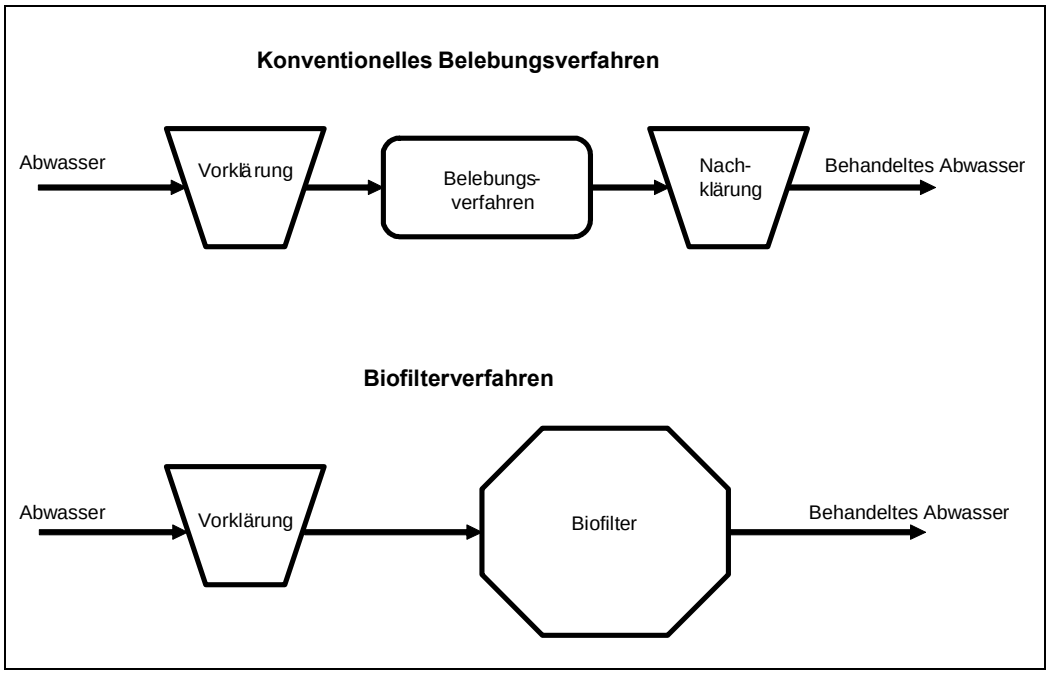

Abbildung 3.35: Biofilterverfahren im Vergleich zum konventionellen Belebungsverfahren

Die meisten überfluteten Biofilter bestehen aus einem einzigen Filtermedium. Das Wasser strömt im Filter, entweder mit versenkten oder schwimmendem Medium, aufwärts oder abwärts. Biofilter können aus einer Schicht oder mehreren Schichten bestehen. Während mehrschichtige Biofilter ohne Vorklärung mit dem Rohabwasser beaufschlagt werden, werden Einschichtfilter für gewöhnlich eingesetzt, um nach einer Vorbehandlung suspendierte Feststoffe zu entfernen.

Die Rückspülhäufigkeit hängt von den Eigenschaften des Abwassers ab. Eintägiges Spülen mit einer großen Wassermenge entspricht einer normalen Häufigkeit. Dies muss aber von Fall zu Fall angepasst werden. Die Rückspülung erfolgt in unterschiedlichen Stufen:

- nur Wasser,
- nur Luft,
- Wasser und Luft.

Wegen seiner Fähigkeit, in seinen Poren organische Verunreinigungen, Sauerstoff und Bakterien zu adsorbieren, ist Braunkohlekoks eine Trägermaterialvariante. Die Reaktionszeit wird dadurch deutlich länger gegenüber der normalen Verweilzeit. Refraktärer CSB wird deshalb, als Ergebnis einer Kombination eines verstärkten biologischen Abbaus und Adsorption auf dem Trägermaterial, in stärkerem Maße als beim vollständig durchmischten Belebungsverfahren verringert. Die Braunkohle bedeckt die Oberfläche des Behälters und wirkt als Abgasfilter, der die Geruchsemissionen deutlich mindert.

Anwendung

Die aerobe Abwasserbehandlung stellt für gewöhnlich den letzten biologischen Behandlungsschritt dar. Sie bietet den Vorteil eines schnellen Schlammwachstums und ermöglicht nicht nur die Behandlung verschiedener Inhaltsstoffe von toxischem Abwasser, sondern gewährleistet auch einen gegenüber der anaeroben Behandlung höheren CSB-Eliminationsgrad.

Das vollständig durchmischte Belebungsverfahren ist im allgemeinen bei allen biologisch abbaubaren Abwasserströmen einsetzbar, sei es als Hochlastvorbehandlung von Teilströmen oder als Hauptbestandteil einer zentralen AWBA.

Das **Biomembranverfahren** wird zur Behandlung von kommunalem und industriellem Abwasser, zum Beispiel aus der chemischen Industrie, der Nahrungsmittelindustrie oder der Zellstoff- und Papierindustrie, aber auch von Deponiesickerwasser eingesetzt. Es eignet sich insbesondere für:

- Abwasserströme mit hohem CSB und/ oder hohen Ammoniumfrachten,
- Rückführung von Abwasser,
- strenge Einleitungsanforderungen,
- empfindliche Vorfluter,
- schwer absetzbaren Schlamm,
- Erweiterung bestehender Anlagen,
- Kompaktanlagen,
- Belästigungen (z. B. durch Geruchsprobleme),
- Desinfektion von Wasser.

Soweit **Tropfkörper** in der chemischen Industrie eingesetzt werden, werden sie als Teil einer zentralen AWBA betrieben, um die am leichtesten abbaubaren Verunreinigungen zu vermindern und die Schlammqualität in der nachfolgenden Belüftungsstufe zu verbessern.

Biofilter werden zur Behandlung von kommunalem und industriellem Abwasser (z. B. Abwasserströme mit hohen CSB-Belastungen aus der Zellstoff- und Papierindustrie) eingesetzt, aber auch um bestehende Belebtschlammanlagen aufzurüsten (ebenso im Falle von Wirbelbettreaktoren). Der Vorteil des auf Trägermaterial fixierten Biofilms besteht in einer geringeren Empfindlichkeit gegenüber hohen Salzgehalten und den, aufgrund der langzeitigen Rückhaltung im System, besseren Bedingungen für langsam wachsende Bakterien. Biofilter werden auch als direkte Vorbehandlungs- oder abschließende Reinigungsstufe eines Belebungsverfahrens eingesetzt.

Biofilter können 2 bis 3 mal höher als eine Hochlastbelebtschlammanlage belastet werden und dennoch 90 % des CSB eliminieren [cww/tm/164]. Ein Vergleich mit unterschiedlichen biologischen Systemen behandelter Frachten ist in Tabelle 3.10 dargestellt [cww/tm/164]. Mit der Biofiltration wird der gleiche Wirkungsgrad hinsichtlich Nitrifikation/ Denitrifikation erreicht, allerdings bei höheren Frachten.

	CSB [kg/(m^3/d)]	BSB [kg/(m^3/d)]	NH_4-N [kg/(m^3/d)]	NO_3-N [kg/(m^3/d)]
Belebtschlamm	0,4-6	0,35-3 [a]	0,04-0,1	0,24-0,72
Belebtschlamm, mit Sauerstoff angereicherte Belüftung		2-5 [b]		
Biofilter	3-25	1,3-10 [a]	0,4-1,5	0,7-6
Tropfkörper (mit Füllkörpern aus Kunststoff)		1-5 [b]		
Biomembranreaktor [c]	2-3 [d 1]		0,9 [e 1]	

[a] BSB_5
[b] BSB_7
[c] Schlammkonzentration 11-25 g/l [1]
[d] Spitzen zwischen 1,6 und 8,5 kg CSB/(m^3/d)
[e] von Flüssigkeit aus thermischer Behandlung
[1] [cww/tm/163]

Tabelle 3.10: Vergleich von mit verschiedenen aeroben Verfahren behandelter spezifischer Frachten

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Nährstoffe	BSB:N:P sollte 100:5:1 betragen. Kritische Verhältnisse, die bei Aufrechterhaltung eines sicheren Betriebs nicht überschritten werden sollten, sind BSB:N 32:1 und BSB:P 150:1
Konzentration	hohe Stoffkonzentrationen (auch von nicht toxischen Stoffen) müssen vermieden werden
Hemmstoffe	vgl. Tabelle 3.9
Temperatur	Abwassertemperaturen >35 °C können für Mikroorganismen kritisch sein
Salzfracht	hohe Salzbelastung (>30 g/l) kann den biologischen Prozess stören, indem die Mikroorganismen geschädigt werden; Festfilm-Verfahren sind weniger empfindlich

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Kosteneffektive Behandlung organischer Verunreinigungen. • Umweltauswirkungen geringer als bei anderen Behandlungsverfahren. • Große Abwassermenge kann behandelt werden. • Im Vergleich zu nicht biologischen Behandlungssystemen relativ hohe Energieeffizienz. Die Energie wird zumeist durch nachhaltige Methoden produziert (Metabolismus von Mikroorganismen mit Luft und Wasser). • Hauptsächlich Abbau in harmlose Verbindungen.	• Hoher Energieverbrauch für das Einbringen von Sauerstoff ins Wasser. • Anfall beträchtlicher Mengen von Klärschlamm (außer bei Biomembranverfahren oder Festbettbiofilter). • Die Belüftung führt zu Strippeffekten für flüchtige Verbindungen. Dies führt zur Freisetzungen flüchtiger Stoffe, häufig eine Ursache von Geruch und Aerosolen. • Vollständig durchmischte Verfahren können zu Blähschlamm und zum Abtreiben von Belebtschlammflocken führen. • Biologische Verfahren können durch Verunreinigungen gehemmt werden. • Bei Biomembranverfahren: Fouling der Membranen kann ein Problem sein. • Hoher Druckverlust, gleich bedeutend mit Anstieg des elektrischen Energieverbrauchs.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Der wichtigste Parameter zur Überprüfung des Eliminationsgrades oder der Wirksamkeit der biologischen Behandlung ist der BSB. Der Abbau des CSB hängt dagegen vom Ausmaß der vorgeschalteten Vorbehandlung und dem Gehalt schwer abbaubarer Verunreinigungen ab. Refraktärer CSB (oder Schadstoffe, die den refraktären CSB verursachen) kann nicht biologisch behandelt werden und sollte deshalb so weit wie möglich von einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ferngehalten werden. Daher macht es Sinn, erreichbare CSB-Werte aufzulisten.

Parameter	Eliminationsgrade [%]				
	Vollständig durchmischtes Belebungsverfahren	Biomembranverfahren	Tropfkörper	Wirbelbett	Biofilter Festbett
Abf. Stoffe		99 [5]			
Trübung		99 [5]			
BSB	97–99.5 [1]	97 [5]	40–90 [2] 85–95 [a 2]	>98 [1]	
CSB (TOC)	76–96 [c 1]	>90-96 [5]		90 [b 1]	26–68 [d 3]
Phenolindex	>99 [e 4]				75–98 [3]
AOX					55–98 [3]
Anorganischer Gesamt-N		82 [5]			4–50 [3]
NH_4-N		96-98 [5]			

[a] zweistufig
[b] 3 hintereinander geschaltete Bioreaktoren, nachfolgende GAK-Adsorption führt zu 98 % TOC-Reduktion, 99 % CSB-Reduktion
[c] 96 % bei Reinsauerstoff
[d] Abbau von refraktärem CSB, Anlage arbeitet als Schönung nach einer Belebtschlamm-AWBA
[e] Zulauf Phenol 30 mg/l, 2200 m^3/d Abwasser
[1] [cww/tm/132]
[2] [cww/tm/4]
[3] [cww/tm/151]
[4] [cww/tm/96]
[5] [cww/tm/163]

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Auswirkungen der aeroben biologischen Behandlung auf die Umwelt sind:

- das Einbringen von Sauerstoff in das System und dessen Folgen,
- der als Folge des biologischen Prozesses anfallende Belebtschlamm.

Das Einbringen von Sauerstoff durch Belüftung verursacht einen hohen Energiebedarf und Strippung flüchtiger Abwasserinhaltsstoffe in die Luft sowie Gerüche. Durch folgende Maßnahmen können diese Auswirkungen gemindert werden:

- Ersatz der Luft durch Reinsauerstoff oder mit Sauerstoff angereicherter Luft. Dadurch muss gegenüber der notwendigen Einspeisung von Luft nur 20 % der Gasmenge eingespeist werden. Damit werden die Strippeffekte und auch der Energiebedarf gemindert. Der Vorteil dieser Verfahrensvariante ist jedoch sorgfältig gegen die Auswirkung(en) der Herstellung von Sauerstoff abzuwägen, z. B. Energieverbrauch, Sicherheitsfragen, Schwierigkeiten CO_2 auszustrippen, etc.
- Belebungsbecken abdecken und die erfasste Abluft einer nachgeschalteten Behandlungsanlage (wie GAK-Adsorber, Verbrennungsanlage, Biofilter oder Nasswäscher) zuführen.
- Einsatz trägerfixierter biologischer Behandlungstechniken (Festbettbiofilter), wobei entweder die Anlagen abgedeckt sind oder das Trägermaterial (Braunkohlekoks) als Adsorbens für das Abgas dient.

Die aerobe biologische Behandlung führt zu relativ großen Mengen von zu entsorgendem Belebtschlamm. Aerobe biologische Abwasserbehandlungstechniken erfordern eine spezielle Behandlung des Belebtschlamms, entweder am Standort oder extern. Dies wird in Abschnitt 3.4 genauer beschrieben.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	vollständig durchmischtes Belebungsverfahren	Biomembranverfahren	Tropfkörper	Fliessbett	Biofilter Festbett
Sauerstoff (Luft oder Reingas)					
Neutralisationschemikalien					
Flockungshilfsmittel	300-550 kg/Tonne CSB [a 1]				
Nährstoffe	23-42 kg/Tonne CSB [b 1]				
Trägermaterial					
Energie [kWh/m^3]	9,5 [c 1] 0,1 kWh pro EGW [2]				

[a] Flockungshilfsmittel: Eisensulfat
[b] o-Phosphorsäure
[c] einschließlich Schlammverbrennung
[1] [cww/tm/96]
[2] [cww/tm/128]

Überwachung

Die Überwachung einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ist in Anhang 7.3 dargestellt.

Ökonomische Daten

	Kosten				
	vollständig durchmischtes Belebungsverfahren	Biomembranverfahren	Tropfkörper	Fliessbett	Biofilter Festbett
Investitionskosten	15-20 Millionen FIM [a 1]				
Betriebskosten	etwa 2 % der Investitionskosten [2]				0,2 DM /m^3 [3]
	0,60 FIM/m^3 [a 1]				

[a] etwa 90 m^3/h, 500-900 mg/l CSB
[1] [cww/tm/96]
[2] [cww/tm/128]
[3] [cww/tm/151]

Investitions- und Betriebskosten sind stark von Abwassermenge und Schadstofffracht, den eingebauten Einrichtungen, wie API, Neutralisationsstufe, Ausrüstung zur Schlammabtrennung etc, abhängig. Deshalb können die Kostenangaben an diesem Punkt nur ein grober Anhalt sein und müssen angesichts der vorhandenen Einrichtungen und der Fracht der jeweiligen Anlage weiter spezifiziert werden.

3.3.4.3.4 Biologische Stickstoffelimination

Beschreibung

Die Elimination von Stickstoff, oder genauer Ammonium, erfolgt mittels einer besonderen zweistufigen biologischen Behandlung:

- der aeroben Nitrifikation, bei der spezielle Mikroorganismen Ammonium (NH_4^+) zum Zwischenprodukt Nitrit (NO_2^-) oxidieren, welches weiter zum Nitrat (NO_3^-) umgewandelt wird,
- der anoxischen Denitrifikation, bei der Mikroorganismen Nitrat zu gasförmigen Stickstoff umwandeln.

Wie alle biologischen Verfahren, ist die Nitrifikation/Denitrifikation empfindlich gegenüber toxischen oder hemmenden Stoffen. Wie jedoch bereits oben erwähnt, kann eine vorsichtige Zudosierung geringer Konzentrationen dieser toxischen Stoffe zu einer Adaptation der Mikroorganismen und damit zum vollständigen Verlust der Hemmeffekte führen, solange die Konzentration nicht deutlich erhöht wird. Stoffe mit Hemmeffekten sind in Tabelle 3.11 aufgelistet [cww/tm/27].

Verbindung	Hemmkonzentration [mg/l] gelöst	Eliminationsrate [%]
Thioharnstoff	1	50
Thiosemicarbazid	1	50
Natriumethyldithiocarbamat	1	50
Methylisocyanat	1	50
Allylisothiocyanat	1	50
1,1-Dichlorethan	125	Ausgangspunkt
1,1-Dichlorethen	75	
1,2-trans-Dichlorethen	75	
1-Naphthylamin	15	50
2,2-Bipyridin	16 / 20	50
Ammonium-N	200	50
Benzol	500	
Benzidindihydrochlorid	20-100	50
Benzocain	>100	50
Benzylamin	>100	50
Tetrachlormethan	50	
Chlorbenzol	100	
Trichlormethan	18	75
Dimethylgloxim	>100	50
Dimethylphthalat	100	
Dodecylamin	<1	50
Ethylendiamin	17	50
Hexamethyldiamin	85	50
Monoethanolamin	>100	50
Methylamin	<1	50
Methylthiouroniumsulfat	10	50
Skatol	10	50
Natriumdimethyldithiocarbamat	20	50
Natriumcyclopentamethylenthiocarbamat	20	50
Guanidincarbonat	20	50
Allylalkohol	20	50
Benzylthiouroniumchlorid	20–100	50
Diguanid	20–100	50
Allylthioharnstoff	1	50
Thioacetamid	1	50
Dithiooxamid	1	50
Mercaptobenzthiazol	1	50
N-Methylalanin	1	50
Naphthalin	50	
Naphthylethylendiamindihydrochlorid	23	50
Ninhydrin	>100	50
p-Aminopropiophenon	43	50
p-Nitroanilin	31	50
p-Nitrobenzaldehyd	87	50
p-Phenylazoanilin	72	50
Phenol	3	30
Tannsäure	>100	50
Toluol	350	Ausgangspunkt
Triethylamin	127	50
Zink	0,08–0,5	
Kupfer	0,005–0,5	Ausgangspunkt
Cyanid	0,34	Ausgangspunkt
Chrom (VI)	0,25	Ausgangspunkt
Blei	0,5	Ausgangspunkt
Quecksilber	1	Ausgangspunkt
Chinolin	10	50
p-Benzochinon	10	50
Tetramethylthiuramthiocarbamat	20	50
Pyridin	20	50
Kresol	20	50
Cetyltrimethylammonium	20	50
Tetramethylthiuramdisulfid	20–100	50

Verbindung	Hemmkonzentration [mg/l] gelöst	Eliminationsrate [%]
Hydrazin	20–100	50
8-Hydroxy-chinolin	20–100	50
Diallylether	20–100	50
Kohlenstoffdisulfid	20–100	50
Dicyandiamid	>100	50
Strychninhydrochlorid	>100	50
Kaliumthiocyanat	300	50
EDTA (Ethylendiamintetraacetat)	350	50
N-Methylalaninhydrochlorid	550	
Cetylpyridiniumchlorid	20–100	50
Natriumazid	20–100	50
Dichlorophen	20–100	50
Trimethylaminhydrochlorid	>100	50
2,4,6-Tribromphenol	>100	50
Methylenblau	100	50
Streptomycin	400	50

Tabelle 3.11: Wichtige Nitrifikationshemmer

Falls eine Nitrifikation/Denitrifikation betrieben wird, kann diese typischerweise in eine zentrale biologischen Abwasserbehandlungsanlage eingebunden sein. Ein wesentlicher Faktor für die Denitrifikation ist das Verhältnis zwischen oxidiertem Stickstoff (Nitrat/Nitrit) und BSB (als Reduktionsmittel). Es gibt zwei wichtige Varianten der Anordnung:

- Nitrifikationstufe als Teil des belüfteten Abschnitts; falls erforderlich wird das N/BSB- Verhältnis durch Zugabe von leicht abbaubarem TOC (z. B. Methanol) zur nachfolgenden Denitrifikationsstufe verbessert (vgl. Abbildung 3.36),
- Denitrifikation als erste Stufe, unter Nutzung des BSB-reichen Rohabwassers als Energielieferant, gefolgt durch Belüftungsabschnitt (Nitrifikation). Ein Großteil des nitrifizierten Abwassers wird in die Denitrifikationszone zurückgeführt (vgl. Abbildung 3.37).

Bedürfen nur einzelne Abwasserteilströme der Behandlung durch Nitrifikation/Denitrifikation, ist eine von der zentralen Behandlung separat zu betreibende Behandlung empfehlenswert.

Bei bestehenden biologischen AWBA kann die Nitrifikation/Denitrifikation einfach durch bauliche Änderungen nachgerüstet werden, wie

- Einbau von Trennwänden,
- Einbau von Rücklaufleitungen für nitrathaltiges Abwasser,
- Wiederverwendung vorhandener Beckenvolumen,
- Nutzung vorhandener Klärbecken oder
- Einstellen oder Anpassen der Prozesskontrolle.

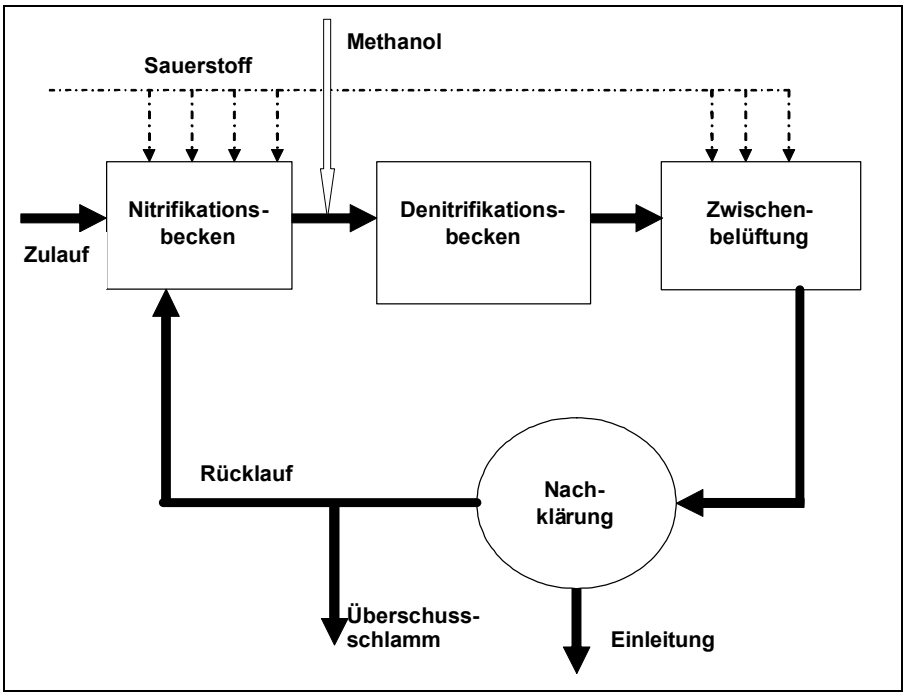

Abbildung 3.36: Nitrifikation/Denitrifikation in Reihe geschaltet

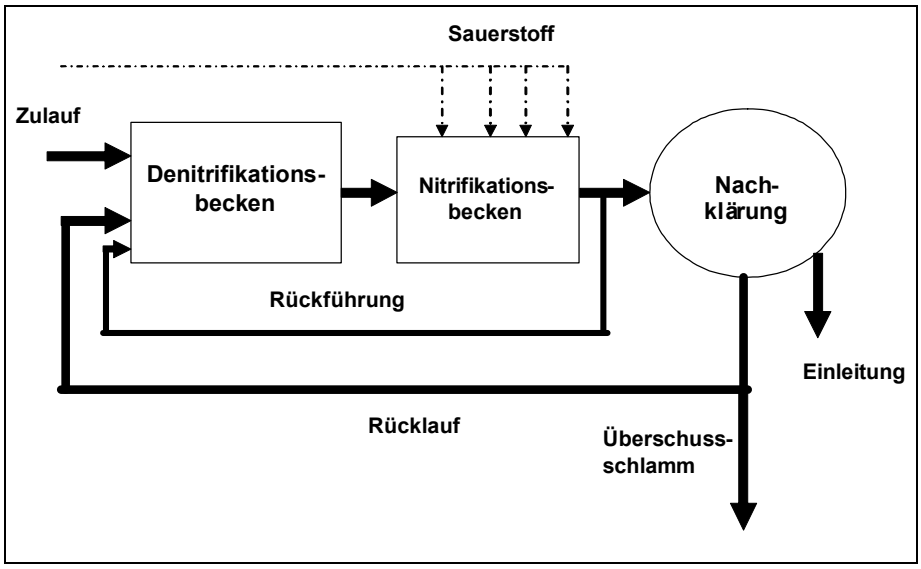

Abbildung 3.37: Nitrifikation/Denitrifikation mit vorgeschalteter Denitrifikation

Anwendung

Die Nitrifikation/Denitrifikation wird bei Abwasserströmen eingesetzt, die beträchtliche Mengen an Stickstoffverbindungen enthalten, insbesondere Amine und Ammoniumverbindungen. Die Überwachung der Einleitung von Ammonium ist eine wichtige Maßnahme zum Schutz der Oberflächengewässerqualität (z. B. Flüsse), da die Umwandlung von Ammonium zum Ammoniak pH-abhängig zu Fischgiftigkeit führt.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Temperatur	>12–15 °C, niedrigere Temperaturen schränken das Wachstum der Bakterien der Nitrifikationsstufe ein
Toxische Stoffe	bestimmte Stoffe wirken hemmend (vgl. Tabelle 3.11)
BSB/N-Verhältnis	im Bereich von 12 : 1 [1]
TOC/N-Verhältnis	im Bereich von 10 : 1 [1]
Chloridkonzentration	<5 g/l [1]
[1] [cww/tm/160]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Wirksame Elimination von Stickstoffverbindungen. • Verfahren kann in vorhandene biologische Behandlung integriert werden, z. B. in die zentrale AWBA. • Bestehende Anlagen können einfach nachgerüstet werden.	• Verfahren ist empfindlich im Hinblick auf schwankende Bedingungen, pH, Temperatur, Hemmstoffe (vgl. Tabelle 3.11) und Abwasserinhaltsstoffen. • Gasförmige Freisetzungen in die Luft.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Parameter	Elimination [%]	Emissionswerte [mg/l]	Bemerkungen
Anorganischer Gesamt-N	70–80 [1]	10–20 [2]	
[1] [cww/tm/128] [2] [cww/tm/160]			

Medienübergreifende Wirkungen

Falls die Nitrifikations-/Denitrifikationsstufe Teil der zentralen AWBA ist, trägt sie zu den Freisetzungen geruchsintensiver und flüchtiger Stoffe bei. Weitere Emissionen sind die üblicherweise von biologischen Behandlungsanlagen zu erwartende Emissionen. Das heißt, dass es notwendig sein kann, falls nicht in geschlossenen Behältern betrieben, die Anlagen abzudecken und die anfallenden Abgase zu behandeln sind.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Zugabe von Kohlenstoffquellen	
Energie [kWh/m^3]	

Die üblichen Lärmquellen, wie Pumpen, Strahlbelüfter und Rührer sollten berücksichtigt und geeignete Maßnahmen durchgeführt werden, z. B. Kapselung der Anlagen.

Überwachung

Die Überwachung einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ist in Anhang 7.3 dargestellt.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten		Bemerkungen
	Nitri/Denitri, in Reihe geschaltet	Denitri/Nitri in Reihe geschaltet	
Investitionskosten			
Betriebskosten			

3.3.4.3.5 Zentrale Biologische Abwasserbehandlung

Beschreibung

Der aerobe biologische Belebungsprozess (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.3) stellt den wichtigsten Teil zentraler Abwasserbehandlungsanlagen dar. Um diese zentrale Einrichtung herum sind eine Reihe komplexer vorbereitender und nachgeschalteter Trennverfahren gruppiert. Die zentrale Abwasseranlage ist gewöhnlich ausgerüstet mit:

- Puffer- oder Ausgleichsvolumen, soweit dies nicht durch andere vorgeschaltete Anlagenteile zur Verfügung gestellt wird;
- Mischbecken, wo Neutralisations- und Flockungschemikalien beigefügt und gemischt werden (für gewöhnlich Kalkmilch und/oder Mineralsäuren, Eisensulfat), geschlossen oder abgedeckt, falls dies erforderlich ist, um Freisetzungen geruchsintensiver Stoffe zu vermeiden. Die erfasste Abluft wird einer Behandlung zugeführt;
- Vorklärung, in der Schwebstoffe entfernt werden; geschlossen oder abgedeckt, wenn dies erforderlich ist, um die Freisetzungen flüchtiger geruchsintensiver Stoffe zu vermeiden. Die erfasste Abluft wird einer Behandlung zugeführt;
- Belebungsteil, z. B.
  - Belebungsbecken mit Nährstoffzugabe am Zulauf, geschlossen oder abgedeckt, wenn dies erforderlich ist. Die erfasste Abluft wird eine Behandlung zugeführt,
  - oder geschlossene Reaktionsbehälter (z. B. Turmbiologie) mit Ablufterfassung, die an ein Abgasbehandlungssystem angeschlossen ist,
  - Nitri-/Denitrifikationsstufe (optional) und Phosphatelimination;
- optional eine Zwischenklärung mit Schlammrückführung, falls eine zweite biologische Stufe betrieben wird;
- optional eine zweite Belebtschlammstufe für niedrig belastete biologische Behandlung;
- Nachklärung mit Schlammrückführung und Transfer zur Schlammbehandlung; alternativ dazu Sandfilter, MF- oder UF-Anlagen;
- optional weitere spezielle Behandlungsanlagen zur Elimination von refraktärem CSB, z. B. Biofilter (vgl. Abschnitt 3.3.4.3.3);
- optional weitere spezielle Behandlungsanlagen nach der Nachklärung, z. B. Entspannungsflotation (vgl. Abschnitt 3.3.4.1.3);
- optional Schlammbehandlungsanlagen, wie:
  - Faulbehälter (vgl. Abschnitt 3.4.2),
  - Schlammeindicker (vgl. Abschnitt 3.4.1),
  - Schlammentwässerung (vgl. Abschnitt 3.4.1),
  - Schlammverbrennung (vgl. Abschnitt 3.4.3);
- Abgas(Abluft)behandlungsanlagen, wie:
  - GAK-Adsorber (vgl. Abschnitt 3.5.1.3),
  - thermische oder katalytische Oxidation (vgl. Abschnitt 3.5.2.4 und Abschnitt 3.5.2.5),
  - Fackeln (vgl. Abschnitt 3.5.2.6).

Ein Beispiel ist in Abbildung 3.38 dargestellt [cww/tm/81]

Anwendung

Die zentrale biologische Abwasserbehandlung wird bei komplexem Abwasser aus der Herstellung und der Verwendung organischer Chemikalien eingesetzt, vorausgesetzt, die Abwasserinhaltsstoffe sind biologisch abbaubar. Zentrale AWBA sind somit allgemein verbreitete end-of-pipe-Anlagen in der chemischen Industrie. Einige anschauliche Beispiele sind in Anhang 7.6.1 dargestellt.

Eine zentrale biologische AWBA ist entsprechend der obigen Beschreibung in der Lage, zwei Arten von Verunreinigungen zu entfernen:

- suspendierte Feststoffe,
- biologisch abbaubare Verbindungen.

Abwasserströme mit beträchtlichen Mengen nicht zu diesen Gruppen gehörender Verunreinigungen erfordern entweder eine Vorbehandlung vor ihrer Einleitung in die zentrale Anlage oder eine spezielle Behandlung (vgl. Abschnitt 3.3.4.2) unter Umgehung der zentralen Anlage. Abwasserströme, die mit biologisch abbaubaren Stoffen äußerst hoch belastet sind, werden für gewöhnlich auch vorbehandelt (vgl. Abschnitte 3.3.4.3.1 bis 3.3.4.3.4).

Zu Anwendungsgrenzen und Beschränkungen vgl. Abschnitte 3.3.4.3.3 und 3.3.4.3.4:

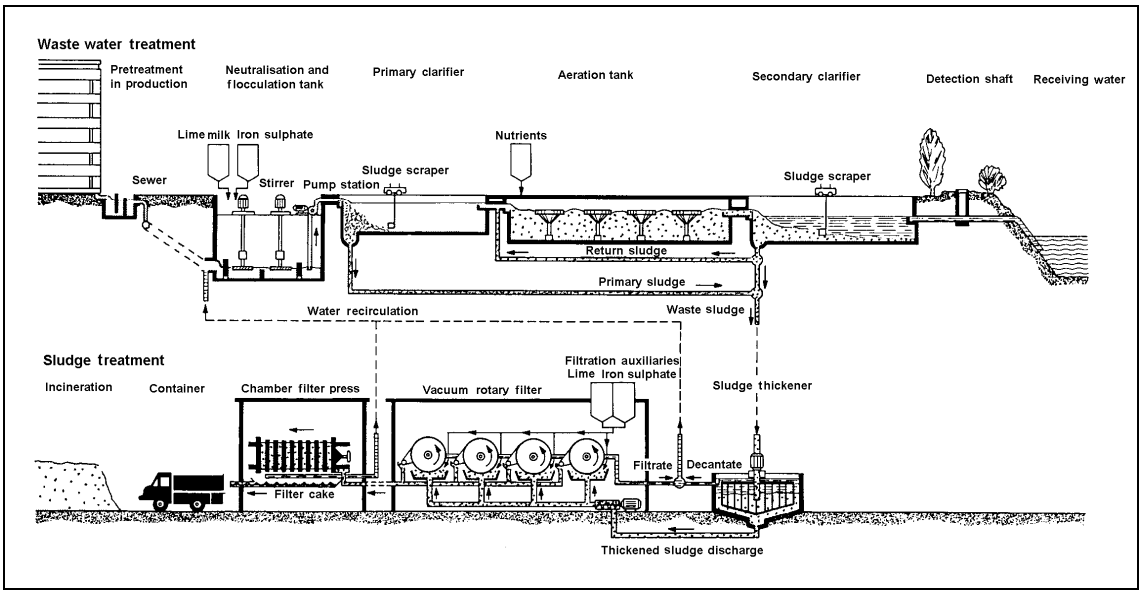

Abbildung 3.38: Beispiel einer zentralen (mechanisch-biologisch-chemischen) AWBA
Aeration tank = Belüftungsbecken ; Container = Behälter; Chamber filter press = Kammerfilterpresse; Decantate = Dekantat; Detection shaft = Kontrollschacht; Filtrate = Filtrat; Filtration auxillaries = Filterhilfsmittel; Filter cake = Filterkuchen; Incineration = Verbrennung; Iron sulphate = Eisensulfat; Lime = Kalk; Lime milk = Kalkmilch; Neutralisation and flocculation tank = Neutralisations- und Flockulationsbehälter; Nutrients = Nährstoffe; Pretreatment in production = Vorbehandlung in der Produktion; Primary clarifier = Vorklärung; Primary sludge = Vorklärschlamm; Pump station = Pumpenstation; Receiving water = Vorfluter; Return sludge = Rücklaufschlamm; Secondary clarifier = Nachklärung; Sewer = Kanalisation; Stirrer = Rührer; Sludge scraper = Schlammräumer; Sludge thickner = Schlammeindicker; Sludge treatment = Schlammbehandlung; Thickened sludge discharge = Dickschlammabwurf; Vacuum rotary filter = Vakuumrotationsfilter; Water recirculation = Wasserrückführung; Waste sludge = Abfallschlamm; Waste water treatment = Abwasserbehandlung

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Große Abwassermengen werden behandelt. • Synergetische Effekte können die Wirksamkeit erhöhen. • Energieeffizienz ist im Vergleich zu Verfahren wie GAK-Adsorption, Verbrennung, Nassoxidation hoch. Energie wird hauptsächlich durch nachhaltige Methoden zur Verfügung gestellt (Metabolismus von Mikroorganismen mit Luft und Wasser). • Normalerweise Abbau in weniger schädliche Verbindungen (einige Ausnahmen, falls Abbauprodukte zu neuen, aus der Herstellung von Pharmazeutika und Pestiziden bekannten Verbindungen reagieren	• Biologische Prozesse können durch Verunreinigungen oder durch zu hohe Temperaturen (>35 °C) oder zu niedrige Temperaturen (<12 °C) gehemmt werden. • Große Mengen an zu entsorgendem Überschussschlamm. • Belüftungsverfahren verursachen Strippung flüchtiger Verbindungen, was zu Freisetzungen von flüchtigen Geruchsstoffen und/oder Aerosolen führt.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Der wichtigste Parameter zur Überprüfung des Leistungsgrades oder der Wirksamkeit der biologischen Behandlung ist der BSB. Der Abbau des CSB hängt dagegen vom Ausmaß der vorgeschalteten Vorbehandlung und dem Gehalt schwer abbaubarer Verunreinigungen ab. Refraktärer CSB (oder Schadstoffkonzentrationen, die als refraktärer CSB fungieren) können biologisch nicht behandelt werden und sollten deshalb so weit wie möglich einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ferngehalten werden.Deshalb ist es sinnvoll, erreichbare CSB-Werte aufzulisten.

Parameter	Elimination [%]	Erreichbare Emissionswerte [mg/l]	Bemerkungen
Abfiltrierbare Stoffe		10 [4]	
BSB	97–99,5 [1,4]	7-10 [4]	
	99–99,8		Anaerobe Vorbehandlung
CSB (TOC) [a]	60–98 [1,2,4]		mit Reinsauerstoff 98 %
	95–97		Anaerobe Vorbehandlung
AOX		<1 [4]	
Anorganischer Gesamt-N	70–80 [3]	10–20 [4]	
Phenol	>99 [5]		Abwassermenge 2200 m^3/d, Zulauf 30 mg/l Phenol
G_F		2-3 [b 6]	Messungen in Deutschland [c] (Ausreißer bis zu 24)
G_D		2-4 [b 6]	Messungen in Deutschland [c] (Ausreißer bis zu 768)
G_A		1-16 [b 6]	Messungen in Deutschland [c] (Ausreißer bis zu 1024)
G_L		2-12 [b 6]	Messungen in Deutschland [c] (Ausreißer 1024)
G_M		1,5 [b]	Messungen in Deutschland [c]

[a] unter Berücksichtigung der vorgeschalteten Elimination von refraktärem CSB
[b] dimensionslose Zahlen
[c] der höhere Wert entspricht dem 90-Perzentil
[1] [cww/tm/132]
[2] [cww/tm/105]
[3] [cww/tm/128]
[4] [cww/tm/160]
[5] [cww/tm/96]
[6] [cww/tm/162, 165]

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Auswirkungen der aeroben biologischen Behandlung sind, wie bereits in Abschnitt 3.3.4.3.3 beschrieben, der mit der notwendigen Belüftung und Mischung im Belüftungsbecken verbundene Energiebedarf, der Anfall beträchtlicher Mengen von zu entsorgendem oder zu behandelndem Überschussschlamm, die Strippeffekte der Belüftung, welche Freisetzungen von Aerosolen und flüchtiger Geruchsstoffe verursachen sowie der durch die Behandlungsanlagen entstehende Lärm. Maßnahmen gegen die Freisetzungen sind das Kapseln oder Abdecken sensitiver Bereiche, wie des Mischbeckens, der Vorklärung und der Belüftungsbecken und den Abluftstrom einer Abgasbehandlungsanlage zuzuführen. Die Kapselung von Apparaten, wie Pumpen, stellt eine Lärmminderungsmaßnahme dar.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Luft oder Sauerstoff	
Neutralisationschemikalien	
Flockungshilfsmittel	300-550 kg/Tonne CSB [a 1] 0,5-1,9 kg/Tonne CSB [b 2]
Nährstoffe	23-42 kg/Tonne CSB [c 1] 3-5 kg/Tonne CSB [c 2]
Energie [kWh/m^3]	9,5 [d 1] 0,7–4,0 [2] 0,1 kWh per p.e. [3]

[a] Flockungshilfsmittel: Eisensulfat
[b] nur Anteil der Abwasserbehandlung
[c] o-Phosphorsäure
[d] einschließlich Schlammverbrennung
[1] [cww/tm/96]
[2] [cww/tm/105]
[3] [cww/tm/128]

Die bei der zentralen Behandlung im Verhältnis zur Schadstofffracht entstehende Schlammmenge ist nicht einfach zu quantifizieren. Sie überdeckt einen weiten Bereich zwischen 34 und 2000 kg Trockenmasse pro Tonne eliminiertem CSB, durchschnittlich im Bereich von 250–720 kg Trockenmasse pro Tonne eliminiertem CSB [cww/tm/105].

Überwachung

Die Überwachung einer biologischen Abwasserbehandlungsanlage ist in Anhang 7.3 dargestellt.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten pro m^3		
Betriebskosten pro m^3		

Die Investitions- und Betriebskosten hängen stark von den Einrichtungen ab, die den biologischen Teil umgeben.

3.3.4.4 Regenwasser- und Löschwasserbehandlung

Ein wesentlicher Punkt bei industriellen Tätigkeiten besteht darin, unbehandelte Einleitungen vom Standort vermeiden. Zu diesem Zweck wird das Kanalisationssystem eines Industriestandortes in Flächen eingeteilt, die der Produktion zugehören, z. B.

- nicht überdachte Flächen von Produktionsanlagen,
- Bereiche mit Lagertanks,
- Dächer, die verunreinigten Niederschlägen ausgesetzt sind,

und normale Verkehrsflächen, z. B.:

- Straßen des Standorts,
- Verwaltungsbereiche,
- nicht verunreinigte Dachflächen,
- Parkplätze.

Regenwasser aus Produktionsbereichen und Löschwasser werden entweder vor Ort in Sümpfen oder in anderen zentralen Einrichtungen gesammelt. Diese lassen eine Überprüfung und schließlich eine Entscheidung zu, ob sie direkt in den Vorfluter oder in eine Behandlungsanlage eingeleitet werden. Es muss dafür gesorgt werden, dass verhindert wird, dass sich durch das Auffangen von Löschwasser das Feuer ausbreitet.

Das Kanalisationssystem normaler Verkehrsflächen wird, wo angemessen, an besondere Einleitungsbauwerke angeschlossen, die gebaut werden, um z. B.

- bei Starkregenereignissen den Vorfluter gegen die hydraulische Fracht aus großen versiegelten Flächen zu schützen,
- in trockenen Zeiten angesammelte ausgespülte Verunreinigungen des Niederschlags zu entfernen,
- versehentliche Einleitungen aufgrund von auf Straßen oder Parkplätzen auslaufenden Flüssigkeiten zu vermeiden.

Diese Anlagen umfassen häufig einen first-flush-Bereich und die Rückhaltung von Regenwasser für das nach dem ersten Regen nach einer relativ trockenen Periode anfallende Abwasser sowie weiteren Speicherraum für den nachfolgenden Regen.

3.3.4.4.1 Rückhaltebecken

Beschreibung

Rückhaltebecken halten dauerhaft ein Wasservolumen einer bestimmten Fläche zurück. Sie basieren auf physikalischen, biologischen und chemischen Verfahren zur Entfernung von Schadstoffen aus Regenwasserabläufen. Außerdem vergleichmäßigen sie die Regenwassermenge und vermeiden dadurch hydraulischen Stress für den nachfolgenden Vorfluter. Ist das Becken voll, verdrängt zufließendes Regenwasser den vorhandenen Inhalt. Die Beckengröße ist von der erforderlichen hydraulischen Verweilzeit abhängig. Abhängig von der Art der Verunreinigungen und der hydraulischen Verweilzeit kann Eutrophierung auftreten. Von Zeit zu Zeit ist eine Entfernung der Ablagerungen notwendig.

Das Wasser im Becken wird durch einen Auslauf abgeleitet, der aus einem vertikalen an einem waagrechten Zylinder befestigten Steigrohr besteht, welches den Regenwasserabfluss unterhalb des Dammes in einen Vorfluter leitet. Der Auslauf ist so ausgelegt, dass überschüssiges Wasser abfließen kann, aber auch ein dauerhafter Einstau aufrechterhalten bleibt. Die Steigrohre sind für gewöhnlich im oder auf der Kante des Dammes platziert und mit einem Müllnetz zur Vermeidung von Verstopfungen abgedeckt.

Zur Vermeidung diffuser Verunreinigungen aufgrund Oberflächenabfluss oder unabsichtlichem Auslaufen sind Rückhaltebecken mit Öltrenn-/auffangeinrichtungen ausgerüstet.

Anwendung

Rückhaltebecken werden eingesetzt, um hydraulische Überlastungen nachgeschalteter Anlagen zu vermeiden und feste Schadstoffe aus dem Regenwasser abzutrennen. Diese Schadstoffe können Ablagerungen, organisches Material und, unter bestimmten Umständen, gelöste Metallverbindungen und Nährstoffe sein. Rückhaltebecken können an Industriestandorten mit gering verunreinigten Flächen eingesetzt werden.

Es gibt keine Anwendungsgrenzen und Beschränkungen.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Rückhaltebecken verringern bei Einleitungen in schwache Vorfluter unterhalb der Einleitung Überflutungspotential und Ufererosion.	• First-flush-Systeme bieten keine Rückhaltung auslaufender Flüssigkeiten, deshalb Platzbedarf für ausreichende Volumina.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Die erreichbare Schadstoffelimination ist von den speziellen Bedingungen, wie der hydraulischen Verweilzeit und der Art der Schadstoffe abhängig. In einem Becken ist so in einem bestimmten Umfang Sedimentation und biologischer Abbau möglich.

Medienübergreifende Wirkungen

Sedimentierter Schlamm muss normalerweise deponiert werden. Im Rückhaltebecken sich ansammelnde leicht abbaubare Stoffe können Geruchsemissionen verursachen.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Eine geeignete Wartung garantiert eine auf Dauer richtige Funktion des Rückhaltebeckens. Dies umfasst [cww/tm/77]:

- Abräumen von Müll und Schutt,
- Durchführen von Überprüfungen des Dammes und des Überlaufes, um eine Standsicherheit zu prüfen und nach Anzeichen von Erosion oder Besiedlung durch Tiere zu suchen,
- Durchführen regelmäßiger Reparaturen von Damm, Notüberlauf, Zu- und Ablauf,
- Sedimente und Algen entfernen,
- Sträucher oder Bäume vom Damm entfernen, die möglicherweise den Damm schwächen können,
- den Auslaufbereich unterhalten.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		Arbeitskosten 3 h/Monat

3.3.4.4.2 Sandfilter

Beschreibung

Eine besondere Anwendung von Sandfiltern ist ihr Betrieb zum Zwecke der Regenwasserbehandlung und der Entfernung ungelöster Schadstoffe, wie suspendierten Feststoffen, ungelösten Phosphaten und feststoffgebundenem BSB. Sie stellen ein hoch wirksames Mittel zur Entfernung von Schadstoffen aus dem Regenwasser dar und sind in ihrer in Anwendung so flexibel, dass sie zur Anpassung an standortspezifische Gegebenheiten Änderungen an der grundsätzlichen Aufbaustruktur zulassen. Um die Schadstoffbeladung zu entfernen, muss der Filter von Zeit zu Zeit rückgespült werden.

Sandfilter für die Regenwasserbehandlung bestehen für gewöhnlich aus zwei Komponenten:

- einer Sedimentationskammer zur Entfernung aufschwimmender Stoffe und von schweren Sedimenten,
- einer Filtrationskammer zur Entfernung weiterer Schadstoffe.

Sandfilter sind beispielsweise ausgeführt als:

- Oberflächenbecken,
- Mulden-Rigolen,
- Doppelmulden,
- Kiesmulden,
- Torfsandfilter.

Anwendung

Sandfilter werden häufig dort eingesetzt, wo an einem Industriestandort nicht genügend Platz für die Einbindung eines Rückhaltebeckens ist. Sie werden zur Behandlung von Regenwasser gering verunreinigter Flächen eingesetzt.

Es gibt keine Anwendungsgrenzen und Beschränkungen.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Eliminationsraten erreichbar. • Geringer Platzbedarf.	• In Wasser gelöste Stoffe werden nicht entfernt, allenfalls durch Adsorption.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Eliminationsgrad [%]	Bemerkungen
TSS	80–83 [1]	
[1] [cww/tm/77]		

Medienübergreifende Wirkungen

Rückspülschlamm muss als Abfall entsorgt werden.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge
Energie [kWh/m^3]	

Überwachung

Die Leistung des Sandfilters kann durch häufige Inspektionen und regelmäßigen Ersatz der Filtermedien aufrechterhalten werden. Wann immer erforderlich, sollte sich ansammelnder Müll und Schutt vom Sandfilter entfernt werden.

Ökonomische Daten

Die Investitionskosten sind vom gewählten Sandfiltersystem abhängig und schwanken stark.

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Investitionskosten		
Betriebskosten		

3.4 Schlammbehandlungstechniken

Die meisten Abwasserbehandlungsverfahren führen zu Schlamm. Menge, Konsistenz und Inhaltsstoffe hängen jedoch von den Abwasserinhaltsstoffen und der Behandlungstechnik ab. Für gewöhnlich ist der Schlamm eine Flüssigkeit oder eine halbfeste Flüssigkeit, mit Feststoffgehalten zwischen 0,25 - 12 Gew-% [cww/tm/4] und enthält hauptsächlich die aus dem Abwasser entfernten Schadstoffe. Überschussbelebtschlamm aus einer biologischen AWBA besteht zumeist aus Abbau(Mineralisations)produkten, Bakterienmasse sowie adsorbierten Schadstoffen, wie Schwermetallen.

Unbehandelter Schlamm kann nicht entsorgt oder deponiert werden, da:

- seine für die Luft schädlichen Schadstoffe eine Deponierung nicht zulassen,
- seine für Gewässer schädlichen Schadstoffe eine Einleitung in einen Vorfluter nicht zulassen,
- die enthaltene große Wassermenge die Verbrennung wegen des Energieverbrauchs zu einer wenig attraktiven Option macht.

Der bei der Abwasserreinigung in der chemischen Industrie anfallende Schlamm ist im Allgemeinen nicht für landwirtschaftliche Zwecke geeignet. Dies ist aber von der Gesetzgebung der Mitgliedstaaten abhängig. Ein kritischer Aspekt ist der Gehalt an Schwermetallen, AOX/EOX und anderen persistenten Schlammbestandteilen.

Behandlungsverfahren für Schlamm aus AWBA sind:

- vorbereitende Verfahren (in diesem Dokument nicht beschrieben), wie
  - Mahlen,
  - Vermengen oder Mischen,
  - Lagerung,
  - Entsandung.

- Verfahren zur Schlammeindickung (vgl. Abschnitt 3.4.1), wie
  - Schwerkrafteindickung,
  - Eindickung mit Zentrifugen,
  - Eindickung mit Flotation (DAF),
  - Bandeindickung,
  - Eindickung mit Rotationstrommel.

- Schlammstabilisierung (vgl. Abschnitt 3.4.2), wie
  - chemische Stabilisierung (Kalk),
  - thermische Stabilisierung,
  - anaerobe Faulung,
  - aerobe Schlammfaulung,
  - duale Schlammstabilisierung.

- Schlammkonditionierung (vgl. Abschnitt 3.4.2), wie
  - chemische Konditionierung,
  - thermische Konditionierung.

- Schlammentwässerungstechniken (vgl. Abschnitt 3.4.1), wie
  - Entwässerung in Zentrifugen,
  - Bandfilterpressen,
  - Filterpressen.

- Trocknungsverfahren (vgl. Abschnitt 3.4.3), wie
  - Rotationstrockner,
  - Sprühtrocknung,
  - Entspannungstrocknung,
  - Eindampfung,
  - Etagentrockner.

- thermische Schlammoxidation (vgl. Abschnitt 3.4.3), unter Einsatz von Techniken, wie
  - Wirbelschichtverbrennung,
  - Nassoxidation,
  - Tiefschachtoxidation,
  - Verbrennung zusammen mit anderem (z. B. festen) Abfall.

- Deponierung des Schlammes am Standort (nicht in diesem Dokument beschrieben).

Die Behandlungsverfahren und Entsorgungswege sind nicht als einzelne Optionen oder als eine Kombination einzelner Optionen zu sehen. Die Auflistung ist in keinesfalls als Ranking zu verstehen und erfolgt hauptsächlich nach dem Ausmaß der Mengenverringerung. Es muss erwähnt werden, dass die Verfügbarkeit (oder Nichtverfügbarkeit) eines Entsorgungsweges ein starker Antrieb für die Wahl der Abwasserbehandlungstechnik sein kann - zumindest auf der örtlichen Ebene.

3.4.1 Schlammeindickung und Entwässerung

Beschreibung

Schlammeindickung und Schlammentwässerung stellen Verfahren zur Erhöhung des Feststoffgehaltes des Schlamms und zum Entzug eines Teils des Wassergehaltes dar. Ihr Nutzen liegt darin, dass das bei nachfolgenden Behandlungsverfahren zu handhabende Volumen um das mehrfache (etwa fünffache oder mehr) verringert wird, und die notwendige Größe und Kapazität der Behandlungsanlagen verringert wird. Beide Behandlungsverfahren unterscheiden sich nur durch das Ausmaß des Wasserentzugs.

Übliche Techniken sind:

- Schwerkrafteindickung oder Sedimentation im Absetzbecken,
- Zentrifugaleindickung (auch als Entwässerungstechnik), ideal für hohen Feststoffrückhalt, die entweder als Vollmantelzentrifuge oder nicht perforierte Siebtrommelzentrifuge betrieben wird, dargestellt in Abbildung 3.39.

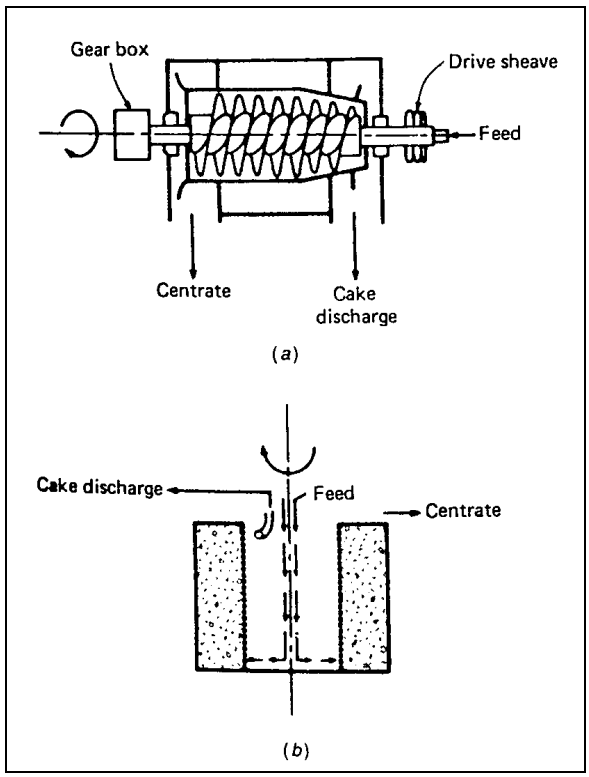

Abbildung 3.39: Zentrifugalschlammeindicker
(a) Vollmantelzentrifuge, (b) nicht perforierte Siebtrommelzentrifuge
Cake discharge = Abwurf des Filterkuchens; Centrate = Zentrat; Drive sheave = Antriebsscheibe; Feed = Zulauf; Gear box = Getriebegehäuse

- Eindickung mittels Flotation, unter Verwendung der in Abbildung 3.40 dargestellten DAF-Anlagen,
- Bandeindickung, unter Verwendung eines Siebbandes, das über angetriebene Walzen umgelenkt wird. Der konditionierte Schlamm wird am einen Ende in einen Zulaufverteiler-Behälter zugegeben, der sich bildende Schlammkuchen durch eine Reihe von Störkörpern zerteilt und durchkämmt und das freigesetzte Wasser kann unter Einwirkung der Schwerkraft durch das Siebband abfließen.
- Eindickung mittels Rotationstrommel. Die Anlage besteht aus einer Schlammkonditionierung mit Polymerzugabe und zylindrischen Sieben, wo Polymer und Dünnschlamm gemischt, ausgeflockt und in den rotierenden Siebtrommeln vom Wasser getrennt werden.

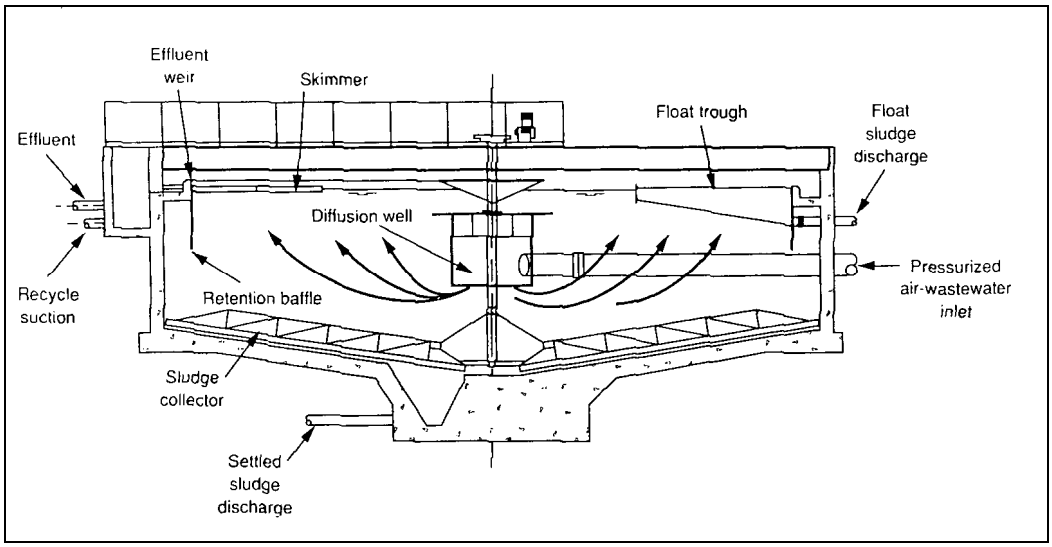

Abbildung 3.40: DAF-Eindicker für Überschussschlamm
Diffusion well = Verteilungsschacht; Effluent = Ablauf; Effluent weir = Abwasserüberlauf; Float sludge discharge = Ablauf Flotat; Float trough = Rinne für Flotat; Pressurized air-wastewater inlet = Zulauf der unter Druck gesetzten Luft/Abwasser-Mischung; Recycle suction = Ansaugen des Rücklaufs; Retention baffle = Rückhalteblech; Settled sludge discharge = Abzug des abgesetzten Schlamms; Skimmer = Skimmer; Sludge collector = Schlammräumer

- Entwässerung in Bandfilterpressen, wo zunächst der konditionierte Schlamm in einen Schwerkraftentwässerungsbereich eingebracht, eingedickt und das Wassers durch Schwerkraft abgetrennt wird. Dieses Verfahren, welches gleichzeitig die Entwässerung verstärkt und Gerüche mindert, wird durch Vakuum unterstützt. In einem Niedrigdruckbereich wird dann Druck angewandt, wodurch der Schlamm zwischen die gegenüberliegenden porösen Bänder gedrückt und zusätzliches Wasser freigesetzt wird (vgl. Abbildung 3.41).

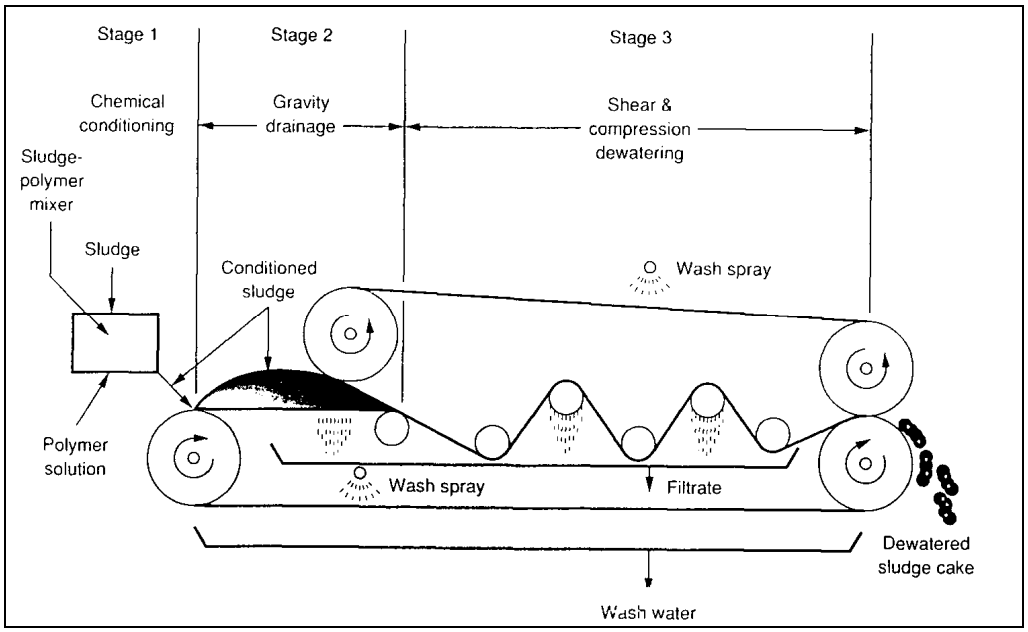

Abbildung 3.41: Bandfilterpresse
Chemical conditioning = Chemische Konditionierung; Conditioned sludge = Konditionierter Schlamm; Dewatered sludge cake = Entwässerter Filterkuchen; Filtrate = Filtrat; Gravity drainage = Schwerkraftentwässerung; Polymer solution = Polymerlösung; Shear & compression dewatering = Scher- und Kompressionsentwässerung; Sludge = Schlamm; Sludge polymer mixer = Schlamm-Polymer Mischer; Stage 1 = Stufe 1; Wash spray = Besprühen mit Wasser; Wash water = Waschwasser

- Entwässerung in Filterpressen, wo die fest/flüssig-Trennung bei hohem Druck (0,7-1,5 MPa) stattfindet [cww/tm/4], der Schlamm durch eine Reihe von Filtertüchern gedrückt wird, um dispergierte Stoffe als Filterkuchen zurückzuhalten und das Filtrat zur Abwasserbehandlungsanlage zurückgeführt wird (vgl. Abbildung 3.42).

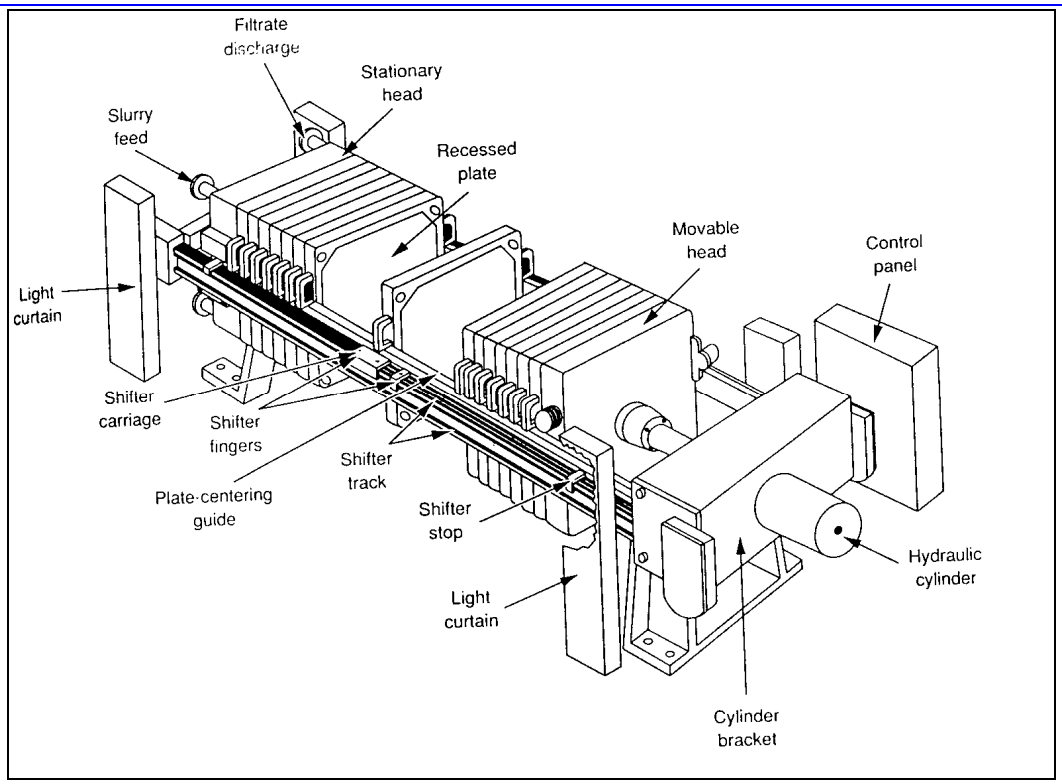

Abbildung 3.42: Plattenfilterpresse
Cylinder bracket = Zylinderbremse; Control panel = Steuerkonsole; Filtrate discharge = Ablauf Filtrat; Hydraulic cylinder = Hydraulischer Zylinder; Light curtain = Lichtschranke; Movable head = Beweglicher Abschluss; Plate-centering guide = Zentrierende Führung für Platte; Recessed plate = Filterplatte mit Aussparung; Slurry feed = Zugabe des Slurry; Shifter carriage = Schieber; Shifter fingers = Führungsstifte; Shifter track = Führungsbahn; Shifter stop = Ende der Führungsbahn; Stationary head = Feststehender Abschluss

Anwendung

Die verschiedenen Techniken und ihre Anwendung bei Schlammeigenschaften sind:

Schwerkraft	Zentrifuge	DAF	Bandeindicker	Rotations-trommel
unbehandelter Vorklärschlamm Als Abfall anfallender Blebtschlamm Mischung von unbehandeltem Vorklärschlamm und als Abfall anfallender Belebtschlamm	Als Abfall anfallender Belebtschlamm, Zugabe von Flockungshilfsmitteln und Polymeren erforderlich	Als Abfall anfallender Belebtschlamm Mischung von unbehandeltem Vorklärschlamm und als Abfall anfallendem Belebtschlamm, Zugabe von Polymeren erforderlich	Als Abfall anfallender Belebtschlamm, insbesondere bei Feststoffgehalten < 2 %	Als Abfall anfallender Belebtschlamm

Bandfilterpresse	Filterpresse
Alle Arten von Schlamm, Zugabe von Flockungshilfsmitteln und Polymeren erforderlich	Alle Arten von Schlamm, Zugabe von Flockungshilfsmitteln und Polymeren erforderlich, Einsatz, falls geringe Gehalte suspendierter Stoffe im Filtrat gefordert sind

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Schwerkrafteindickung: • Sehr gute Ergebnisse bei unbehandeltem Vorklärschlamm. • Schwerkrafteindickung liefert im allgemeinen befriedigende Ergebnisse bei kleinen Anlagen und Schlammkonzentrationen zwischen 4 und 6 %. • Niedriger Energieverbrauch.	Schwerkrafteindickung: • Bei großen Anlagen schlechte Ergebnisse. • Bei als Abfall anfallendem Belebtschlamm nur geringe Feststoffgehalte erreichbar.
Eindickung mit Zentrifugen: • Wirksame Herstellung eines trockenen Schlammkuchens und guter Rückhalt schwierig zu filtrierender Feststoffe. • Im Vergleich zu anderen Entwässerungsmethoden relativ geringer Platzbedarf. • Leichter Einbau. • Minimale Geruchsprobleme.	Eindickung mit Zentrifugen • Hoher Energieverbrauch pro entwässerter Schlammcharge. • Führt von den genannten Entwässerungsmethoden zu den geringsten Feststoffgehalten. • Verursacht Erschütterungen und Lärm. • Erfahrenes Betriebspersonal erforderlich.
DAF-Eindickung: • Guter Wirkungsgrad bei Schlamm aus biologischen Behandlungsprozessen.	DAF-Eindickung: • Empfindlich gegenüber Einfrieren (Verstopfen der Belüfter). • Freisetzungen geruchsintensiver Stoffe (Strippeffekte).
Bandeindicker: • Gute Ergebnisse bei rohem und ausgefaultem Schlamm.	
Eindickung mit Rotationstrommel: • Geringer Bedarf an Wartung, Energie und Platz.	
Bandfilterpressen: • Hohe Wirksamkeit bzgl. Entwässerung. • Einfache Wartung.	Bandfilterpressen: • Hydraulische Beschränkungen. • Sehr empfindlich gegenüber den Eigenschaften des zugegebenen Schlamms. • Kurze Materialstandzeit im Vergleich zu anderen Entwässerungsanlagen.
Filterpressen: • Hohe Entwässerungsleistung und geringe Konzentration suspendierter Feststoffe im Filtrat.	Filterpressen: • Chargenbetrieb. • Besondere Anforderungen an Infrastruktur, Bodenflächen, Erfahrung des Personals. • Begrenzte Standzeit der Filtertücher.

Erreichbare Emissionswerte/ Wirkungsgrade

Technik	Schlamm-Konzentration [%]	Feststoff-Rückhalt [%]	Bemerkungen
Schwerkrafteindickung	2–10 [1,2]	80–92 [1]	Abhängig von Schlammsorte
Eindickung mit Zentrifuge	3–8 [1]	80–98 [1]	
Entwässerung mit Zentrifuge	10–35 [1,2]	85–98 [1]	mit Chemikalienzugabe
DAF-Eindickung	2–10 [2]	80–98 [1]	
Bandeindickung	4–6 [2]		
Eindickung mit Rotationstrommel	3–4 [1]		
	15–30 [1,2]	90–98 [1]	mit Vakuum
Entwässerung mit Bandfilterpresse	15–30 [1,2]	85–98 [1]	mit Chemikalienzugabe
Entwässerung mit Filterpresse	20–50 [1]	90–98 [1]	mit Chemikalienzugabe

[1] [cww/tm/4]
[2] [cww/tm/128]

Medienübergreifende Wirkungen

Schlammeindickung und -entwässerung stellen Vorbehandlungsmethoden dar, um den Schlamm bei seiner weiteren Behandlung besser handhabbar zu machen. Der resultierende Schlamm bedarf nach Eindickung und Entwässerung einer abschließenden Behandlung oder wird auf betriebseigenen Deponien entsorgt. Das Trübwasser (aufschwimmende Stoffe, Filtrat) wird in die Abwasserbehandlungsanlagen zurückgeführt.

Lärm und Gerüche werden durch Kapseln und/oder Einhausen der Anlagen gemindert.

Verbrauchsmaterialien sind:

Verbrauchsmaterial	Menge	Bemerkungen
Konditionierungschemikalien	0–4 kg Polymer/Tonne Trockensubstanz [1]	Vollmantelzentrifuge
	1–3 kg Polymer/Tonne Trockensubstanz [1]	Siebtrommelzentrifuge
	2–5 kg Polymer/Tonne Trockensubstanz [1]	DAF
	3–7 kg Polymer/Tonne Trockensubstanz [1]	Schwerkraftpresse
Waschwasser		Für Rückspülung der Filter
Energie [kWh/m^3]	2-6	Vollmantelzentrifuge
	2-3	Bandfilterpresse
	4-5	Filterpresse

[1] [cww/tm/4]

Überwachung

Zur Vermeidung von Störungen muss das Eindickungsverfahren mindestens visuell überwacht werden. Die Zugabe des Schlamms und seine Konsistenz sollten häufig überwacht werden. Außerdem sollte die Trübung des Wasserablaufs gemessen werden. Auftretende Verklumpungen des Schlamms müssen erkannt werden, um Freisetzungen zu vermeiden.

Der Zulauf muss im Hinblick auf empfindliche Ausrüstung, wie Filtertücher, überwacht werden, um den Zutritt größerer oder anderweitig kritischer Feststoffe zu vermeiden.

Ökonomische Daten

Technik	Kosten	
	Investition	Betrieb
Schwerkrafteindickung	15 Millionen BEF [a 1]	8400 BEF/m^3 [a 1]
Eindickung mit Zentrifuge		6-8000 BEF/Tonne Trockensubstanz [1]
DAF-Eindickung	40 Millionen BEF [a 1] 4 Millionen BEF [b 1]	
Bandeindicker		
Eindickung mit Rotationstrommel		6-8000 BEF/Tonne Trockensubstanz [1]
Entwässerung mit Bandfilterpresse		6-8000 BEF/Tonne Trockensubstanz [1]
Entwässerung mit Filterpresse		7-10000 BEF/Tonne Trockensubstanz [1]

[a] Kapazität 100 m^3/h
[b] Kapazität 100 m^3/d
[1] [cww/tm/128]

3.4.2 Stabilisierung und Konditionierung

Beschreibung

Die **Stabilisierung** von Klärschlamm ist ein Behandlungsverfahren, um [cww/tm/132]:

- die Menge an Geruchsstoffen zu verringern oder zu eliminieren,
- die Menge biologisch abbaubarer Feststoffe im Schlamm zu verringern,
- die Entwässerung zu verbessern,
- pathogene Keime zu vermindern,
- das Potential für Fäulnis zu verringern oder zu eliminieren.

Stabilisierungstechniken sind [cww/tm/132]:

- chemische Stabilisierung, um den pH auf >12 anzuheben und damit pathogene Keime abzutöten, hauptsächlich mit Kalk entweder zur Vorbehandlung, d. h. vor Entwässerung, oder als Nachbehandlung, d. h. nach Entwässerung;
- thermische Stabilisierung, wobei der Schlamm in einem Druckbehälter auf Temperaturen bis zu 260 °C und Drücke bis zu 2,8 MPa über etwa 30 Minuten aufgeheizt wird, wird auch als Konditionierungsmethode eingesetzt;
- in einem Becken betriebene aerobe Schlammfaulung mit Luft oder Reinsauerstoff und ausreichendem Rühren – ähnlich dem aeroben Belebungsverfahren der Abwasserbehandlung. Dies führt zu einer 75-80 %-igen Verringerung des Belebtschlammgehaltes [cww/tm/4]. Falls eine getrennte Schlammfaulung in Erwägung gezogen wird, stellt diese Technik eine attraktive Möglichkeit dar.
- anaerobe Faulung, die in einem Behälter unter Luftausschluss entweder im mesophilen (30-38 °C) oder thermophilen (49–57 °C) Bereich betrieben wird, führt zu einer brennbaren Gasmischung (65–70 % Methan, 25–30 % Kohlendioxid, geringe Mengen an Stickstoff, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff etc.) mit geringem Heizwert von etwa 22 MJ/Nm^3;
- duale Schlammstabilisierung, bei der eine vorgeschaltete aerobe thermophile mit einer nachgeschalteten anaeroben mesophilen Faulung kombiniert wird.

Der Zweck der Schlamm**konditionierung** besteht in der Verbesserung der Voraussetzungen für die Eindickung und/oder Entwässerung. Konditionierungstechniken sind:

- chemische Konditionierung, unter Einsatz von z. B. Eisenchlorid, Kalk, Alaun und organischen Polymeren (Koagulations- und Flockulationshilfsmittel),
- thermische Konditionierung, wo der Schlamm in einem Druckbehälter auf Temperaturen bis zu 60-80 °C (Niedrigtemperaturkonditionierung) oder 180–230 °C und 1–2,5 MPa (Hochtemperaturkonditionierung) aufgeheizt wird.

Anwendung

Stabilisierung und Konditionierung werden bei Schlämmen mit organischen Inhaltsstoffen eingesetzt, die eingedickt und/oder entwässert werden sollen. Die Eignung der verschiedenen Techniken hängt von spezifischen Bedingungen am Standort ab, z. B.:

- verfügbarer Platz für Faulbehälter,
- Verfügbarkeit von Energie, einem bei thermischen Techniken wichtigen Thema,
- der entstehenden Schlammmenge,
- einige Techniken sind nur bei größeren Betrieben rentabel.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Chemische Stabilisierung und Konditionierung: • Standardtechnik ohne hohe technische Anforderungen. • Wirksames Verfahren zur Verbesserung der nachgeschalteten Filtration (Konditionierung) und zur Vermeidung geruchsintensiver Stoffe und pathogener Keime (Stabilisierung).	Chemische Stabilisierung und Konditionierung: • Beträchtliche Erhöhung des Feststoffanfalls (außer bei Konditionierung mit Polymeren).
Thermische Stabilisierung und Konditionierung: • Nur geringer Platzbedarf. • Wirksame Behandlung ohne Einsatz zusätzlicher Chemikalien, die zu einem Schlamm in entwässerbarer Form mit zerstörten Bakterien führen. • Am besten anwendbar bei biologischen Schlämmen, die nur schwierig zu stabilisieren oder mit anderen Mitteln zu konditionieren sind.	Thermische Stabilisierung und Konditionierung: • Hohe Investitionskosten im Vergleich zu anderen Techniken. • Hoher Energiebedarf. • Freisetzung geruchsintensiver Stoffe stellt ein wichtiges Problem dar.
Aerobe Schlammfaulung: • Im Vergleich zur anaeroben Faulung vergleichsweise starke Minderung flüchtiger Feststoffe. • Anfall eines geruchslosen, humusähnlichen, biologisch stabilen Produkts. • Relativ einfache Betriebsweise. • Geringere Investitionskosten als anaerobe Faulung.	Aerobe Schlammfaulung: • Hoher Energiebedarf für Rühren und Versorgung mit Luft oder Sauerstoff. • Anfall eines ausgefaulten Schlamms mit schlechten mechanischen Entwässerungseigenschaften. • Verfahren wird wesentlich durch Temperatur, Standort und Behältermaterial beeinflusst.
Anaerobe Faulung: • Die anfallenden Abgase können nach Behandlung, z. B. mit Trocken- oder Nasswäschern, als Brennstoff bei Verbrennungsprozessen eingesetzt werden. • Wirksam einsetzbar ohne Zugabe zusätzlicher Chemikalien. • Aufgrund der langen Verweilzeit wirksame Mineralisierung des Schlamms.	Anaerobe Faulung: • Bei kleinen Standorten stellt der große Platzbedarf ein Problem dar.

Medienübergreifende Wirkungen

Chemische Stabilisierung und Konditionierung - mit der Ausnahme der Konditionierung mit Polymeren - führen zu einem beträchtlichen Anstieg der zu entsorgenden Feststoffmenge. Da bei der Stabilisierung mit Kalk die für das Bakterienwachstum notwendigen organischen Stoffe nicht zerstört werden, muss der Schlamm mit einem Überschuss an Kalk behandelt oder entsorgt werden, bevor der pH deutlich sinkt. Der zugegebene Kalküberschuss kann bis zur 1,5-fachen Menge der für die Aufrechterhaltung des Anfangs-pH von 12 erforderlichen Menge betragen [cww/tm/4].

Die für Schlammstabilisierung erforderliche Kalkmenge ist in Tabelle 3.12 aufgeführt [cww/tm/4], die Polymermenge für Schlammkonditionierung in Tabelle 3.13 [cww/tm/4].

Schlamm	Feststoffkonzentration [%]	Kalkzugabe [a] [kg Kalk/kg Trockensubstanz]
Primärschlamm	3–6	120–340
Als Abfall anfallender Belebtschlamm	1–5	420–860
Aerob ausgefaulter Mischschlamm	6–7	280–500
Faulschlamm	1–4,5	180–1020
[a] erforderliche Kalkmenge, um den pH von 12 für 30 Minuten aufrecht zu erhalten		

Tabelle 3.12: Typische Kalkzugaben zur Stabilisierung von Flüssigschlamm

Schlamm	kg trockenes Polymer/Tonne Trockensubstanz		
	Vakuumrotations-trommelfilter	Bandfilter-presse	Vollmantel-zentrifuge
Primärschlamm	1–5	1–4	0,5–2,5
Primärschlamm und als Abfall anfallender Belebtschlamm	5–10	2–8	2–5
Primär- und Tropfkörperschlamm	1,3–2,5	2–8	-
Als Abfall anfallender Belebtschlamm	7,5–15	4–10	5–8
Anaerob ausgefaulter Primärschlamm	3,5–7	2–5	3–5
Anaerob ausgefaulter Primärschlamm und Belebtschlamm aus der biologischen Abluftreinigung	1,5–8,5	1,5–8,5	2–5
Aerob ausgefaulter Primärschlamm und Belebtschlamm aus der biologischen Abluftreinigung	7,5–10	2–8	-

Tabelle 3.13: Typische Werte für die Zugabe von Polymeren für verschiedene Schlammsorten und Entwässerungsverfahren

Das Hauptthema der aeroben Schlammfaulung ist der Luft- oder Sauerstoffbedarf von etwa 2,3 kg O_2 pro kg verminderte Feststoffe.

Anaerobe Faulung führt zum Anfall eines brennbaren Gases, das als Brennstoff eingesetzt werden kann, aber wegen des Gehaltes an dispergierten Stoffen und Schwefelwasserstoff vor seinem Einsatz gereinigt werden muss. Geeignete Abgasbehandlungstechniken sind trocken oder Nasswäschen. In großen Betrieben kann es als Brennstoff in Kesseln und betriebsinternen Verbrennungsanlagen eingesetzt werden.

Thermische Stabilisierung und Konditionierung sind energieintensive Verfahren, die hinsichtlich ihres Für und Wider angesichts ihrer besonderen Umstände bewertet werden müssen. Während des Betriebes können geruchsintensive Stoffe entstehen oder freigesetzt werden. Sie müssen entsprechend vermieden werden.

Ökonomische Daten

Technik	Kosten	
	Kapital	Betrieb
Chemische Stabilisierung		
Thermische Stabilisierung/ Konditionierung		
Anaerobe Faulung		
Chemische Konditionierung		

3.4.3 Thermische Schlammbehandlung

Beschreibung

Bei der thermischen Schlammbehandlung werden zwei Arten der Anwendung unterschieden:

- Trocknung mittels Wärme, damit der Wassergehalt durch Verdampfung von Wasser verringert wird,
- Oxidation des getrockneten Schlamms unter Mineralisierung der organischen Inhaltsstoffe.

Für gewöhnlich eingesetzte Trocknungsanlagen sind:

- Rotationstrockner,
- Sprühtrockner,
- Entspannungstrockner,
- Verdampfer,
- Etagentrockner.

Bei der nachfolgenden Oxidation des getrockneten Schlamms werden die organischen festen Inhaltsstoffe in oxidierte Endprodukte umgewandelt, in erster Linie in Kohlendioxid und Wasser. Diese werden gasförmig abgeleitet, und ein verringertes Volumen von hauptsächlich anorganischen Feststoffen bleibt zurück. Schlämme, die mittels thermischer Verfahren verarbeitet werden, stellen für gewöhnlich entwässerte und unbehandelte, d. h. unstabilisierte Schlämme dar. Stabilisierungsverfahren, z. B. die anaerobe Faulung, verringern den flüchtigen Anteil des Schlammes und erhöhen damit den Bedarf an Stützbrennstoffen. Eine Ausnahme ist die vor einer

Verbrennung durchgeführte Wärmestabilisierung. Wärmebehandelte Schlämme sind gut entwässerbar. Die Schlämme sind autotherm verbrennbar. [cww/tm/4]

Für gewöhnlich zur thermischen Schlammoxidation (oder Verbrennung) eingesetzte Techniken sind:

- Wirbelschichtverbrennung (vgl. Abbildung 3.43), eingesetzt zur Schlammverbrennung, bestehend aus einem zylindrisch geformten Stahlmantel, der ein Sandbett und für Verwirbelung sorgende Luftdüsen enthält; das Bett wird durch Luft bei einem Druck von 20–35 kPa verwirbelt, die Temperatur des Sandbetts zwischen 760 und 820 °C gehalten [cww/tm/4]. Wenn das Verfahren kontinuierlich oder nur mit kurzfristigen Stillständen betrieben wird, gibt es nach dem Anfahren keinen Stützbrennstoffbedarf [cww/tm/4]. Dieses Verfahren soll im noch zu schreibenden BREF über Abfallverbrennung behandelt werden.

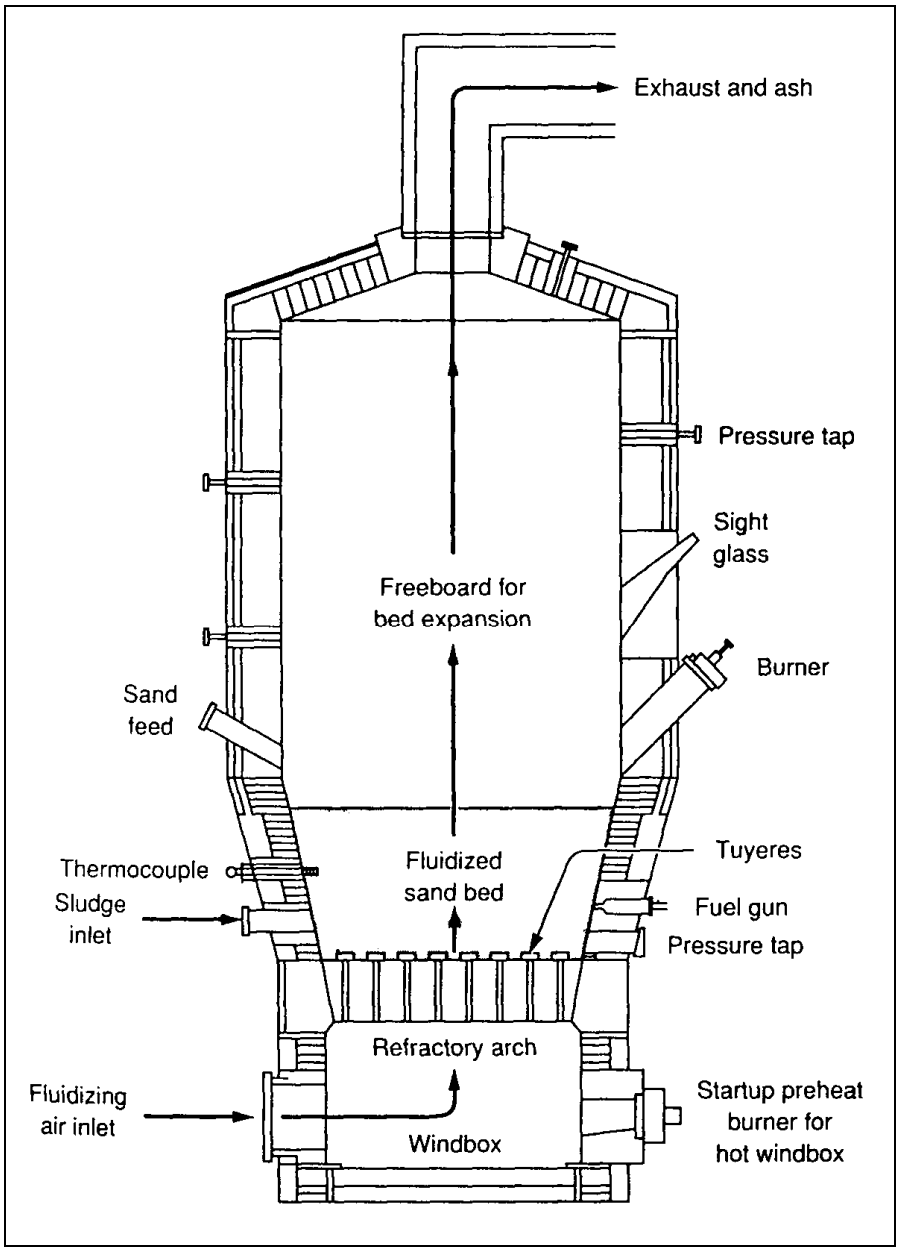

Abbildung 3.43: Wirbelschichtverbrennungsofen [cww/tm/4]
Burner = Brenner; Exhaust and ash = Abgas und Asche; Fluidizing air inlet = Eintritt der Luft für Verwirbelung; Fluidized sand bed = Wirbelschichtsandbett; Freeboard for bed expansion = Freibord für Ausdehnung der Wirbelschicht; Fuel gun = Brennerlanze; Pressure tap = Druckanschluss; Refractory arch = Feuerfeste Ausmauerung; Sand feed = Zugabe Sand; Sight glass = Sichtglas; Sludge inlet = Schlammzufuhr; Startup preheat burner for hot windbox = Vorwärmer für Anfahren des Brennerluftkastens; Tuyeres = Düsen; Thermocouple = Thermoelement; Windbox = Brennerluftkasten

- für unbehandelten Schlamm das im Abschnitt 3.3.4.2.4 bereits beschriebene Verfahren der Nassoxidation, Temperaturbereich 175–315 °C und Drücke bis zu 20 MPa. Gase, Flüssigkeit und Asche verlassen den Reaktor, die Gase können zur Rückgewinnung von Energie entspannt werden.
- Tiefschachtoxidation (vgl. Abbildung 3.44), Einleiten von Flüssigschlamm in die druck- und temperaturregulierte Umgebung eines Rohr-und-Mantel-Reaktors innerhalb eines Tiefschachts, Sauerstoff oder Luft werden in den Abfallschlammstrom eingedüst, Temperatur von etwa 290 °C, Druckbereich am Boden zwischen 10–14 MPa (hydrostatischer Druck). Es handelt sich um eine besondere Anwendung der Nassoxidation.

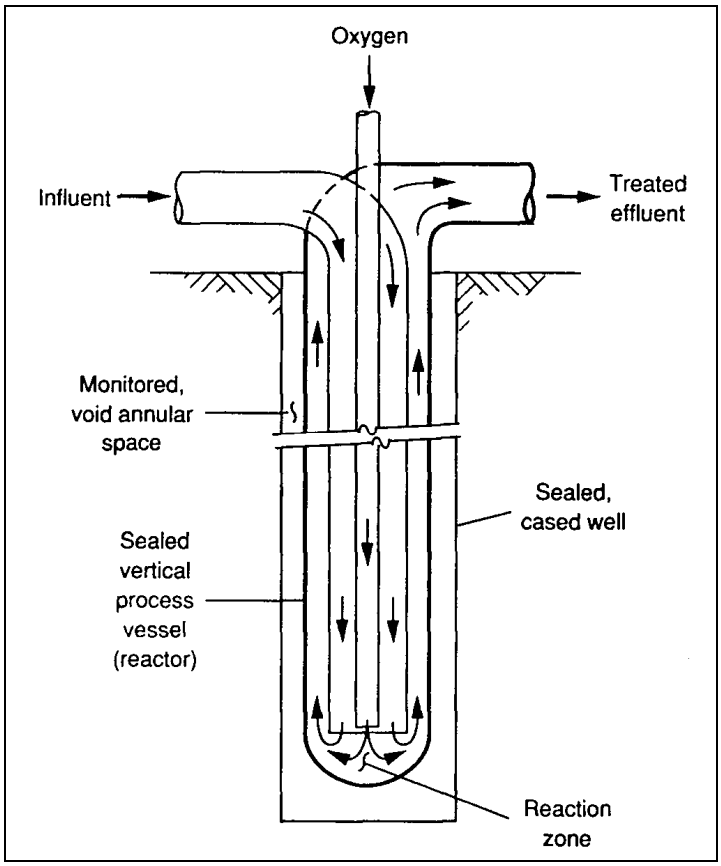

Abbildung 3.44: Tiefschachtoxidationsreaktor [cww/tm/4]
Influent = Zulauf; Monitored void annular space = Überwachter ringförmiger Hohlraum; Oxygen = Sauerstoff; Reaction zone = Reaktionszone; Sealed, cased well = Gekapselter, eingehauster Tiefschacht; Sealed vertical process vessel (reactor) = Geschlossener senkrechter Prozessbehälter (Reaktor); Treated effluent = Behandeltes Abwasser

- Verbrennung zusammen mit anderem Abfall, was die Kosten durch Nutzung der gleichen Anlage verringert und den Vorteil hat, dass die bei der Abfallverbrennung entstehende Wärme für die Verdampfung des Wassergehaltes des Schlamms genutzt wird. Es ist zu erwarten, das dieses Thema im BREF über Abfallverbrennung behandelt wird.

Bei allen Techniken ist eine weitere Behandlung der freigesetzten Gase und Flüssigkeiten notwendig.

Anwendung

Die thermische Schlammbehandlung ist eine Technologie, die nicht unbedingt an einem chemischen Produktionsstandort durchgeführt werden muss. Für gewöhnlich betreiben nur größere Standorte eine Schlammbehandlung in diesem Umfang, andere übergeben ihren Schlamm einer außerbetrieblichen Behandlung. Die Gründe liegen darin, dass erfahrenes Personal erforderlich ist, die Investitions- und Wartungskosten beträchtlich sind und der Nutzen der erzeugten Wärme nur bei größeren Betrieben, oder wo die Anlagen bereits verfügbar sind, von Bedeutung ist.

Die Verbrennung zusammen mit anderem Abfall ist – vorausgesetzt, dass der Verbrennungsofen in geeigneter Weise ausgerüstet ist – zum Beispiel eine Möglichkeit für Standorte, wo bereits eine Abfallverbrennung betrieben wird oder wo der Bau eines Verbrennungsofens geplant ist.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Verbrennung: • Wirksame Zerstörung organischer Inhaltsstoffe im Schlamm.	Verbrennung: • Komplexes Verfahren, das erfahrenes Personal erfordert. • Für gewöhnlich Stützbrennstoffe notwendig. • Gasförmige Emissionen und Gerüche.
Verbrennung zusammen mit anderem Abfall: • Die Wärme für die Verdampfung des Wassers und für die Schlammverbrennung wird durch die Verbrennung von festem Abfall geliefert, keine Stützbrennstoffe notwendig.	Verbrennung zusammen mit anderem Abfall: • Kann zu hohen Emissionen von PCDD/PCDF und Schwermetallen führen, wenn die Verbrennungsbedingungen und das Rauchgasreinigungssystem nicht an die Mischung angepasst werden (Primarmaßnahmen zur Dioxinreduzierung, Sekundärmaßnahmen zur Reduzierung von sowohl Dioxinen und Schwermetallen).
Nassoxidation: • Verfahren kann thermisch selbstversorgend ausgelegt werden, manchmal Energierückgewinnung möglich.	Nassoxidation: • Anfall einer hochfesten Recyclingflüssigkeit. • Komplexes Verfahren, das erfahrenes Personal erfordert.
Tiefschachtreaktor: • Geringer Platzbedarf. • Hohe Eliminationsraten für suspendierte Feststoffe und organische Stoffe. • Verfahren ist vollständig exotherm. • Wenig Gerüche oder unangenehme Luftemissionen.	Tiefschachtreaktor: • Erfahrenes Personal für Prozesskontrolle notwendig.

Medienübergreifende Wirkungen

Die Hauptprobleme bei der thermischen Schlammbehandlung bestehen in den beim Verfahren entstehenden gasförmigen und flüssigen Emissionen.

Die gasförmigen Emissionen aus Wirbelschichtverbrennungsöfen bestehen, abhängig von den Schlamminhaltsstoffen und dem Hilfsbrennstoff, aus Stäuben (Aschen), Stickoxiden, sauren Gasen, Kohlenwasserstoffen, Schwermetallen. Zur Minderung von Luftschadstoffen werden Verfahren der Nasswäsche (Details in Abschnitt 3.5.1.4) eingesetzt. Die wässrigen Freisetzungen aus der Nasswäsche enthalten suspendierte Stoffe und gelöste Abgasinhaltsstoffe, die einer Abwasserbehandlung bedürfen. Emissionen in die Luft und Abwassereinleitungen müssen den Anforderungen der Abfallverbrennungsrichtlinie 2000/76/EC [cww/tm/155], Anhänge II, IV und V genügen.

Beim Wirbelschichtverbrennungsofen gibt es am Reaktorboden keine Asche. Sie wird von den Verbrennungsgasen mitgerissen.

Beim Nassoxidationsverfahren verlassen Gase, Flüssigkeit und Asche den Reaktor. Die Flüssigkeit und Asche werden über Wärmetauscher zur Vorwärmung im Gegenstrom zum zulaufenden Schlamm geführt, die Gase werden von den Stäuben befreit und Tropfen in einem Zyklon abgeschieden und dann abgeleitet. In großen Anlagen kann es wirtschaftlich sein, die Gase zur Energierückgewinnung in einer Turbine zu entspannen [cww/tm/4]. Die flüssige Phase wird von den festen Inhaltsstoffen abgetrennt und zum Absetzbecken oder Vorklärbecken zurückgeführt. Die zurückgeführte Flüssigkeit enthält eine beträchtliche organische Fracht. Typische CSB-Gehalte sind 10–15 g/l.

Das Tiefschachtverfahren erfordert nachgeschaltete gas/flüssig- und fest/flüssig-Trennung sowie Nachbehandlung der aufschwimmenden Stoffe. Durch diese Behandlungsschritte wird der CSB-Gehalt des Schlammes um >80 % verringert [cww/tm/4].

Der Energiebedarf der thermischen Schlammbehandlungstechniken hängt stark vom Heizwert des Schlamms, und damit dem Wassergehalt und dem Heizwert der Trockensubstanz ab.

Überwachung

Das Verbrennungsverfahren (der Ofen) wird für gewöhnlich mittels eines Prozesskontrollsystems betrieben und überwacht mit Hilfe von

- Volumenmessung,
- Temperaturmessung,
- Druckmessung,
- Analysen.

Regelmechanismen garantieren, dass die festgelegte Temperatur in der Verbrennungszone aufrechterhalten wird und im Rauchgas die genaue Sauerstoffkonzentration eingestellt ist. Indem optimale Verweilzeit, Überschuss an Luft und Temperatur sichergestellt werden, ist ein vollständiger Ausbrand der Asche möglich.

Darüber hinaus muss die Überwachung den Artikeln 10 und 11 und dem Anhang III der Richtlinie 2000/76/EC über die Verbrennung von Abfall genügen [cww/tm/155].

Ökonomische Daten

Technik	Investitionskosten	Betriebskosten
Wirbelschichtverbrennung		
Nassoxidation		
Tiefschachtoxidation		
Verbrennung zusammen mit anderem Abfall		

3.5 Abgas-End-of-pipe-Behandlungstechniken

Die End-of-pipe-Behandlungstechniken für Abgas werden hier in gleicher Weise wie die End-of-pipe-Behandlungstechniken für Abwasser beschrieben. Der im Abschnitt 1.3.2.2 dargestellte Zusammenhang zwischen Schadstoff und typischer Behandlung ist in Abbildung 3.45 dargestellt.

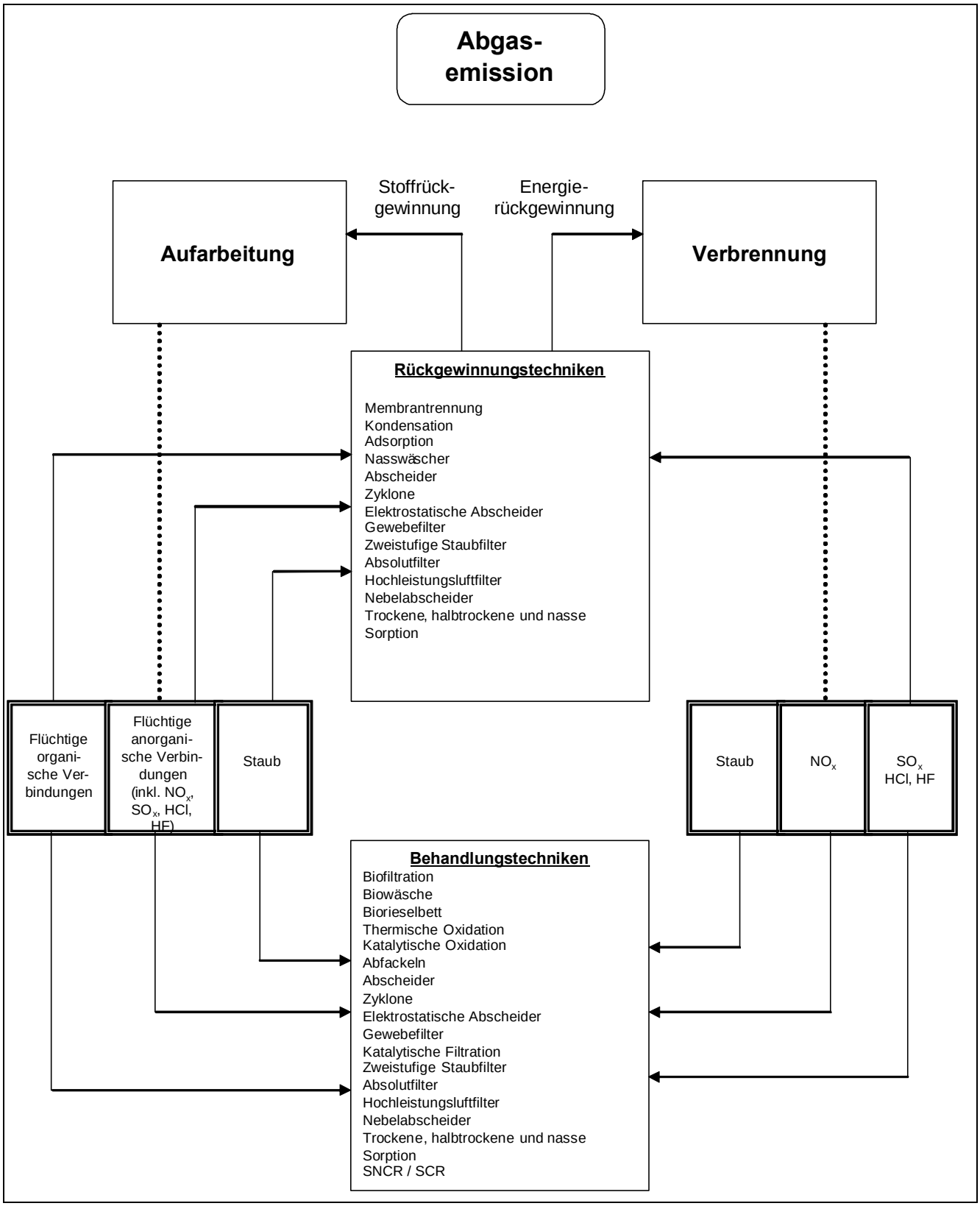

Abbildung 3.45: Bereich der Abgas-End-of-pipe-Behandlungstechniken in Abhängigkeit von der Art der Schadstoffe

Quellen der zu behandelnden Abgase sind:

- Prozesse bei “normaler” Temperatur, wie Herstellung, Umgang oder Aufarbeitungsprozesse mit den Hauptschadstoffen:
  - flüchtige organische Verbindungen wie Lösemittel,
  - anorganische Verbindungen wie Halogenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Kohlenmonoxid,
  - Feststoffe in Form von Staub;
- Verbrennungsprozesse mit den Hauptschadstoffen:
  - Feststoffe in Form von Aschen und Staub, die Ruß und Metalloxide enthalten,
  - Rauchgase wie Kohlenmonoxid, Halogenwasserstoffe, Schwefeloxidverbindungen (SO_x), Stickstoffoxidverbindungen (NO_x).

Anfallende Abgase werden mit Verfahren behandelt, wobei:

- der Inhaltsstoff des Abgases zurückgewonnen wird und entweder in den ursprünglichen Prozess zurückgeführt, oder in einem anderen Prozess als Rohmaterial oder Energieträger benutzt wird, oder
- die Schadstoffe werden entfernt.

Verbindungen, die ökonomisch sinnvoll zurückgewonnen werden können, sind:

- VOC, zurückgewonnen aus Lösemitteldämpfen oder Dämpfe von leicht siedenden Stoffen,
- als Energieträger verwendetes VOC in Verbrennungsanlagen oder Kesselanlagen,
- Chlorwasserstoff, das in Salzsäure überführt wird,
- Ammoniak, das in den Herstellungsprozess zurückgeführt wird,
- Schwefeldioxid, das in Schwefelsäure, Schwefel oder Gips überführt wird,
- Staub mit höherem Feststoffanteil wird als feste Rohmaterialien oder als Endprodukte verwendet.

Die Behandlungsverfahren werden entsprechend Abbildung 3.45 eingeteilt in:

- Rückgewinnungsverfahren für VOC und anorganische Verbindungen:
  - Membrantrennung (siehe Abschnitt 3.5.1.1),
  - Kondensation (siehe Abschnitt 3.5.1.2),
  - Adsorption (siehe Abschnitt 3.5.1.3),
  - Nasswäsche (siehe Abschnitt 3.5.1.4).

- Behandlungsverfahren für VOC und anorganische Verbindungen:
  - Biofiltration (siehe Abschnitt 3.5.2.1),
  - Biowäsche (siehe Abschnitt 3.5.2.2),
  - Rieselbettverfahren (siehe Abschnitt 3.5.2.3),
  - thermische Oxidation (siehe Abschnitt 3.5.2.4),
  - katalytische Oxidation (siehe Abschnitt 3.5.2.5),
  - Abfackeln (siehe Abschnitt 3.5.2.6).

- Verfahren zur Rückgewinnung und Behandlung von Stäuben/Schwebstoffen sind:
  - Abscheider (siehe Abschnitt 3.5.3.1),
  - Zyklon (siehe Abschnitt 3.5.3.2),
  - elektrostatische Abscheider (siehe Abschnitt 3.5.3.3),
  - Nassentstauber (siehe Abschnitt 3.5.3.4),
  - Gewebefilter, einschließlich Keramikfilter (siehe Abschnitt 3.5.3.5),
  - katalytische Filter (siehe Abschnitt 3.5.3.6),
  - zweistufige Staubfilter (siehe Abschnitt 3.5.3.7),
  - Absolutfilter (HEPA Filter) (siehe Abschnitt 3.5.3.8),
  - Hochleistungsfilter (HEAF) (siehe Abschnitt 3.5.3.9),
  - Nebelabscheider (siehe Abschnitt 3.5.3.10).

- Rückgewinnungs- und Behandlungsverfahren für Verbrennungsabgase sind:
  - trockene Sorptionsmitteleinspritzung (siehe Abschnitt 3.5.4.1),
  - halbtrockene Sorptionsmitteleinspritzung (siehe Abschnitt 3.5.4.1),
  - nasse Sorptionsmitteleinspritzung (siehe Abschnitt 3.5.4.1),
  - selektive nichtkatalytische Reduktion von NO_x (SNCR) (siehe Abschnitt 3.5.4.2),
  - selektive katalytische Reduktion von NO_x (SCR) (siehe Abschnitt 3.5.4.2).

Die Mehrzahl der Behandlungsverfahren kann nicht einfach in Rückgewinnungs- oder Behandlungsverfahren unterteilt werden, da die Rückgewinnung der Schadstoffe von der Verwendung zusätzlicher Trennstufen abhängt.

Einige der beschriebenen Techniken sind eigenständige Verfahren und/oder Prozesse, andere werden nur als nachfolgende Vorbehandlungsverfahren benutzt, um eine Störung der Hauptanlagen zu vermeiden, oder erfüllen die Aufgabe eines vorgeschalteten Filters, oder werden als Schönungsstufe verwendet. Andere können beides sein - eigenständige oder nachgeschaltete Technologie. Beispiele werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben.

Die meisten Abgasbehandlungsverfahren erfordern eine nachgeschaltete Behandlung, entweder wegen des entstehenden Abwassers oder des entstehenden Abgases, das bei dem Prozess erzeugt wird und/oder wegen des zur Entsorgung anfallenden festen Abfalls. Dies wird in den nachfolgenden relevanten Kapiteln diskutiert.

3.5.1 Rückgewinnungsverfahren für VOC und Anorganische Verbindungen

3.5.1.1 Membranabscheidung

Beschreibung

Die Membrantrennung von Gasen beruht auf der selektiven Durchlässigkeit von organischen Dämpfen durch eine Membran. Organische Dämpfe haben gegenüber Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff oder Kohlendioxid eine deutlich höhere Permeationsgeschwindigkeit durch die Membran (10 bis 100 fach höher [cww/tm/74]). Der Abgasstrom wird mit Druck über die Membran geleitet. Das angereicherte Permeat kann durch Verfahren wie die Kondensation (siehe Abschnitt 3.5.1.2) oder die Adsorption (siehe Abschnitt 3.5.1.3) zurückgeführt werden, oder es kann, z. B. mittels katalytischer Oxidation (siehe Abschnitt 3.5.2.5), behandelt werden. Das Verfahren ist hauptsächlich für höhere Dampfkonzentrationen geeignet. Eine zusätzliche Behandlung ist meistens notwendig, um Konzentrationen zu erreichen, die für eine Ableitung ausreichend niedrig ist [cww/tm/80].

Membranabscheider werden als Module ausgelegt, z. B. als Kapillarmodule (siehe Abbildung 3.46) [cww/tm/64], die als Polymerschicht gefertigt wurden.

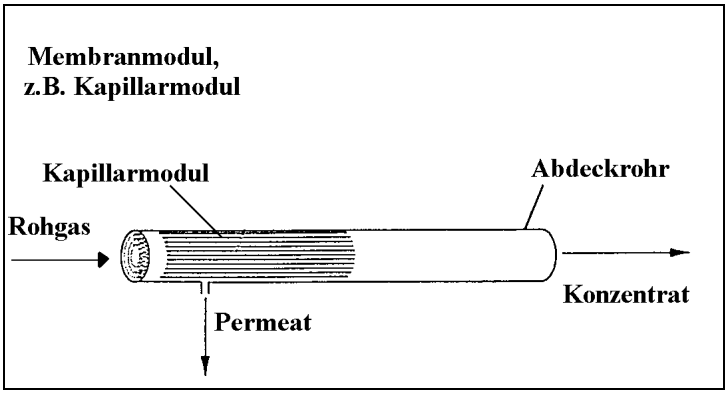

Abbildung 3.46: Typisches kapillares Membranmodul

Ein Membrantrennsystem besteht aus (siehe Abbildung 3.47):

- dem Membranmodul,
- dem Kompressor,
- der Rückgewinnungseinheit (z. B. Kondensator, Adsorber),
- Absaugvorrichtungen und Rohren,
- einer optionalen zweiten Behandlungsstufe für eine weitere Behandlung.

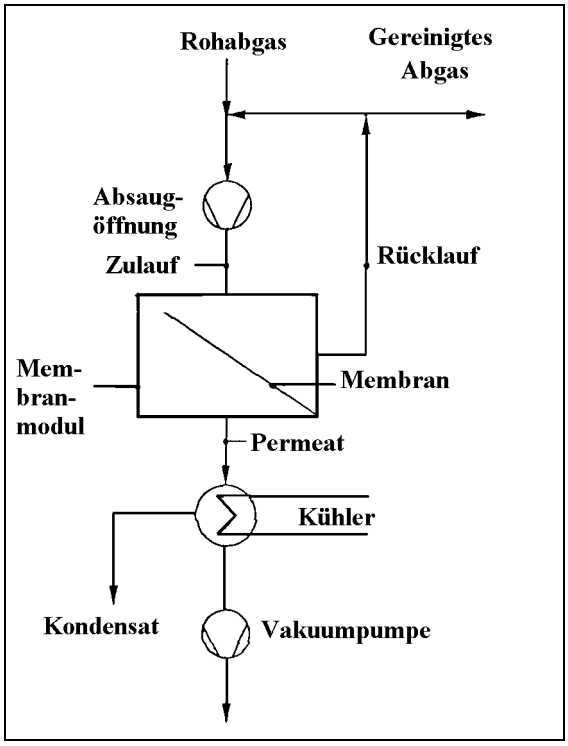

Abbildung 3.47: Schematische Skizze einer üblichen Membrantrenneinrichtung

Um die notwendige Druckdifferenz zwischen Zulauf- und Permeatseite der Membran zu erzeugen (0,1–1 MPa), arbeitet das System entweder mittels Überdruck auf der Zulaufseite, mit Vakuum (ca. 0,2 kPa) auf der Permeatseite, oder beides [cww/tm/64].

Während der Zunahme der Dampfkonzentration innerhalb der Membraneinheit, kann die Konzentration von einem niedrigen Wert bis hin zu einem höheren Wert als die Explosivgrenze ansteigen und sich somit eine explosive Mischung entwickeln. Sicherheit ist deshalb ein entscheidender Punkt und es sind Maßnahmen zu ergreifen, um diese Situationen zu vermeiden oder mit dem Risiko umzugehen.

Ein Beispiel für einen Membrantrennprozess als Dampfrückgewinnungseinheit (VRU) ist in Abbildung 3.48 dargestellt. Hierbei verbessert eine zweite Behandlungsstufe (PSA, siehe Abschnitt 3.5.1.3) die Emission entsprechend der festgelegten Emissionsanforderungen.

Anwendung

Membrantrennung wird z. B. in der chemischen Industrie, der petrochemischen Industrie, bei Raffinerien und der pharmazeutischen Industrie angewendet, um Lösemitteldämpfe oder Treibstoffgase (Benzin) aus dem Abgas oder der Abluft zurückzugewinnen. Beispiele sind die Rückgewinnung von [cww/tm/74]:

- Olefinmonomeren aus Entgasungsströmen bei der Polyolefinharzherstellung,
- Vinylchlorid aus der PVC-Herstellung,
- Lösemittel und Kohlenwasserstoffdämpfe aus der Tankbefüllung,
- Kohlenwasserstoff-Rohstoffe von Raffinerieabsaugungen und Heizgasströmen,
- Wasserstoff aus Raffinerieabgas.

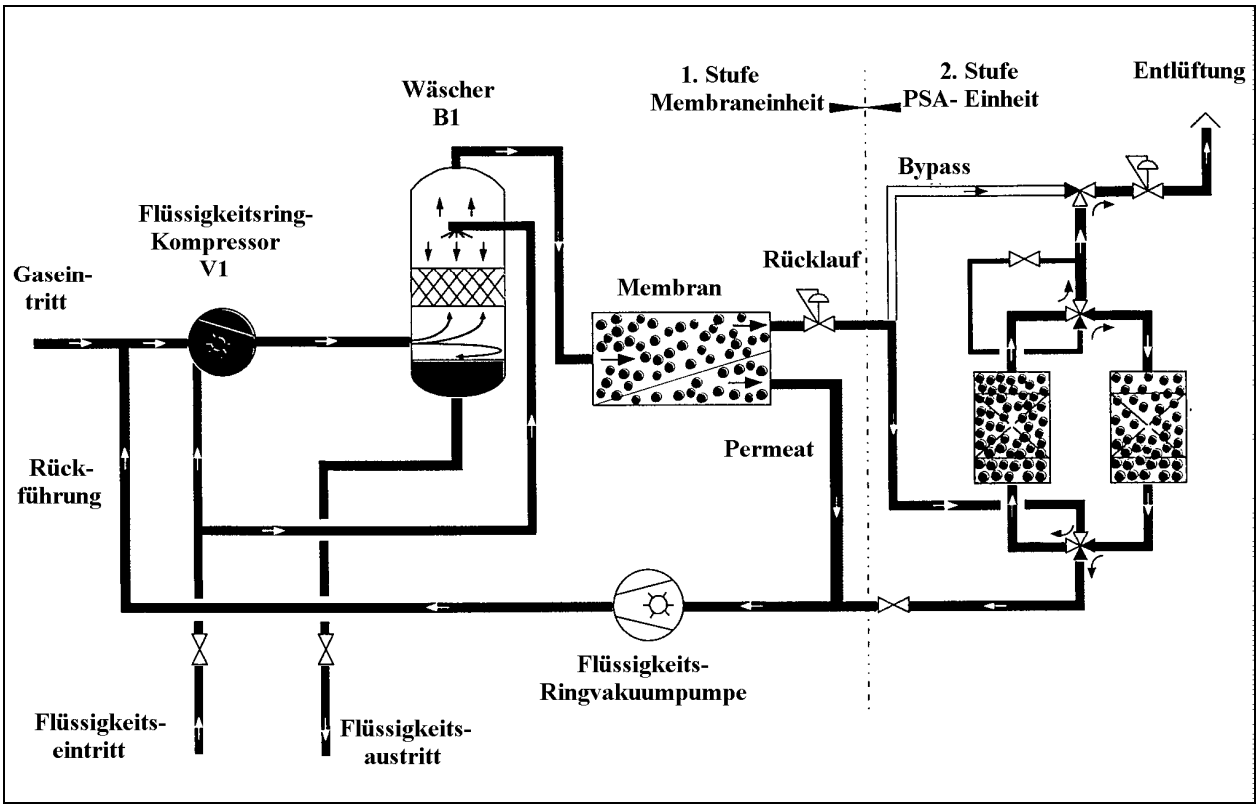

Abbildung 3.48: Anwendung des Membrantrennverfahrens als Dampfrückgewinnungseinheit (DRE)

Rückgewinnbare Verbindungen sind:

- Alkane,
- Olefine,
- Aromaten,
- Chlorkohlenwasserstoffe,
- Alkohole,
- Ether,
- Ketone,
- Ester.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Abgasstrom	Abhängig von der Membranoberfläche, Kapazitäten von 2100–3000 Nm^3/h sind bekannt
Temperatur	Umgebungstemperatur, abhängig vom Membranmaterial
Druck	Abhängig vom Membranmaterial
Staubgehalt	Sehr gering, Staub kann Membranoberfläche zerstören, daher müssen sehr geringe Ausgangsstaubkonzentrationen gewährleistet werden
VOC Konzentration	Bis zu 90 %

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Die Wiederverwendung von Rohmaterial ist möglich. • Der Betrieb selbst ist einfach. • Es entsteht bei dem Verfahren kein Abfall.	• Nachfolgender Aufarbeitungsschritt und/oder Behandlungsschritt ist erforderlich. • Explosionsrisiko.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Bemerkungen
Kohlenwasserstoff	90–99 [1,a]	Rückgewinnungsverfahren für Kohlenwasserstoff, vorgeschaltete Kondensationseinheit
VOC	bis zu 99,9 [1,a]	VOC Rückgewinnung, vor- und nachgeschaltete Kondensationseinheit

[a] für Lösemittelmembranen
[1] [cww/tm/74]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkung
Membranmaterial		
Kühlmedium		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	250 [1]	Elektrische Energie für Ventilator eingeschlossen
Druckabfall [MPa]	0,1–1 [2]	

[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/64]

Die Membrantrennung wird häufig als Kondensationsschritt genutzt, um eine nachfolgende Rückgewinnung oder Behandlung zu unterstützen, z. B.:

- Die Anreicherung von VOC in der Gasphase erhöht den Taupunkt des Abgasstroms, so dass die nachfolgende Kondensation erleichtert wird, hierbei wird Geld gespart.
- Die Verbrennung eines angereicherten Abgasstromes reduziert den zusätzlichen Brennstoffbedarf.

VOCs aus den Membrantrennprozessen werden gewöhnlich zurückgeführt und es entstehen keine Rückstände aus dem Membrantrennprozess. Abhängig vom verwendeten Verfahren kann jedoch im nachfolgenden Behandlungsschritt Abfall entstehen. Restemissionen können vom Kühlwasser oder vom behandelten Abgasstrom herrühren. Diese Gasströme werden entweder über einen Schornstein in die Atmosphäre freigesetzt oder einem nachfolgenden Gasbehandlungsschritt, wie der Adsorption oder der Verbrennung, zugeführt.

Überwachung

Die Leistung des Membrantrennprozesses wird durch Messung der VOC-Konzentration vor und nach dem Membransystem bestimmt. VOCs können als Gesamtkohlenstoff mittels Flammenionisationsdetektor gemessen werden. Die Leistung wird durch Kontrolle der VOC auf beiden Membranseiten verbessert. Aus Sicherheitsgründen muss das Verhältnis VOC / Sauerstoff sorgfältig überwacht werden (Explosionsgefahr).

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 300000 [1]	Behandlungseinheit für 200 Nm^3/h
Betriebskosten Labor Betriebsmittel	 EUR 1500/Jahr [1] EUR 60000/Jahr pro 1000 Nm^3/h [1]	4 Tage pro Jahr

[1] [cww/tm/70]

Kostenrelevante Parameter sind die Geschwindigkeit des Abgasstromes und die Standzeit der Membran. Der Gewinn ist das zurück gewonnene VOC.

Die Systemkosten variieren in Abhängigkeit vom beabsichtigten Rückgewinnungsziel, der Kapazität und der Bauart. Die Amortisationszeit bei hochwertigen Produkten liegt unter günstigen Bedingungen zwischen 4 Monaten und einem Jahr [cww/tm/74]. Anderseits kann auch überhaupt keine Amortisation erreicht werden. Die Kombination mit einem anderen Verfahren (z. B. Adsorption oder Absorption) könnte sich im Vergleich mit einer einstufigen Membrantrennung als profitabler erweisen.

3.5.1.2 Kondensation

Beschreibung

Die Kondensation ist ein Verfahren, das Lösemitteldämpfe aus dem Abgasstrom entfernt, indem die Temperatur unter deren Taupunkt erniedrigt wird.

Es gibt verschiedene Arten der Kondensation, abhängig von dem Betriebstemperaturbereich:

- Kühlmittelkondensation, Senkung der Kondensationstemperatur bis zu ca. 25 °C,
- Kühlende Kondensation, Senkung der Kondensationstemperatur bis auf ca. 2 °C,
- Solekondensation, Senkung der Kondensationstemperatur bis auf ca. -10 °C,
- Ammoniak-Sole Kondensation, Senkung der Kondensationstemperatur bis auf ca. -40 °C (einstufig) oder -60 °C (zweistufig),
- Kryogenkondensation, Senkung der Kondensationstemperatur hinab bis ca. -120 °C, in der Praxis oft zwischen -40 und -80 °C in der Kondensationseinheit,
- Kreislauf- Inertgas-Kondensation.

Die Kondensation wird hauptsächlich in Form von direkter (d. h. Kontakt zwischen Gas und Kühlflüssigkeit) oder indirekter Kühlung (d. h. Kühlung über Wärmetauscher) vorgenommen. Die indirekte Kondensation wird bevorzugt, da die direkte Kondensation einen zusätzlichen Trennschritt benötigt. Rückgewinnungssysteme variieren vom einfachen Einzelkondensator bis hin zu den komplexeren Mehrfachkondensatorsystemen, die für eine maximale Energie- und Dampfrückgewinnung ausgelegt sind [cww/tm/71].

Die Kreislauf-Inertgas-Kondensation wird für geschlossene Kreislaufsysteme, die mit hohen Dampfkonzentrationen verbunden sind, eingesetzt. Ein festgelegtes Inertgasvolumen - gewöhnlich Stickstoff - wird kontinuierlich zwischen Ofen und Kondensationseinheit zurückgeführt. Ein Teil der Stickstoff / Dampf-Mischung wird kontinuierlich in das Rückgewinnungsmodul geführt, in dem eine Reihe von Wärmeaustauschern die Dämpfe kühlen und kondensieren [cww/tm/71].

Die Bauart und der Betrieb der Kondensatoren sind stark vom verwendeten Kühlmedium abhängig. Einige Beispiele sind:

- flüssigkeitsgekühlte (d. h. keine kryogenen) Kondensatoren arbeiten mit zwei Arten von Wärmetauschern:

  Konventioneller Schalen- und Röhren- Wärmetauscher [cww/tm/71], der entweder wasser- oder luftgekühlt ist. Die Kondensationsleistung kann durch einen zweistufigen Betrieb verbessert werden, wo in der ersten Stufe Wasser und in der zweiten Stufe gekühlte Flüssigkeit (Wasser, Sole usw.) als Kühlmedium verwendet wird. Solch ein Zweistufensystem (siehe Abbildung 3.49) [cww/tm/71] besteht aus:

  - Rückgewinnungseinheit, in dem das kalte gereinigte Gas als Kühlmittel verwendet wird,
  - Vorkühler für die nachfolgende Kühlung, in dem gekühltes Wasser oder der kalte, gereinigte Gasstrom genutzt wird,
  - Hauptkühlkondensator,
  - Absaugvorrichtungen und Leitungen.

  Eine andere Möglichkeit ist die Teilkondensation bei geringfügig höherer Temperatur, mit nachfolgender Entfernung der verbleibenden VOC aus dem Gasstrom durch ein anderes Verfahren, wie die Adsorption (siehe Abschnitt 3.5.1.3).

  Um die Nebelbildung zu minimieren, kann eine Reihe von Kondensatoren benutzt werden, sowie ein Entnebler, der durch Verringerung der Gasgeschwindigkeit im Kondensator unterstützt wird.

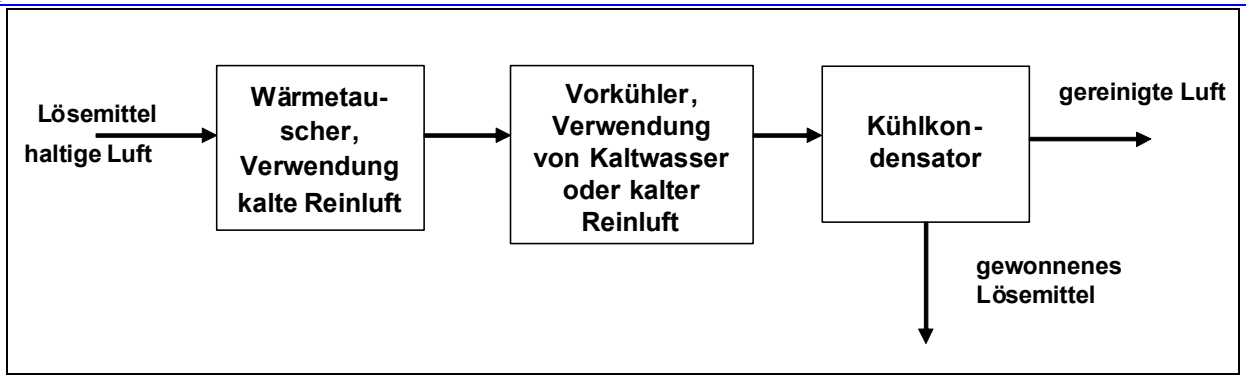

Abbildung 3.49: Zweistufiges Kondensationssystem

Der **Spiral-Wärmetauscher** [cww/tm/71] besteht aus zwei langen streifenförmigen Platten, die so gewickelt sind, dass sie spiralförmige Durchgänge bilden. Das Kühlmedium tritt durch eine periphere Düse ein, gelangt spiralförmig in die Mitte und strömt dann durch ein Rohr zu einer Düse an der Außenseite. Die Prozessdämpfe strömen durch den Boden des Kondensators ein und strömen dann im Gegenstrom nach oben.

Wenn Kühltürme verwendet werden und/oder Oberflächenwasser verwendet wird, kann im Wärmetauscher „Fouling“ auftreten, weshalb Spülprogramme und/oder eine Kühlwasserbehandlung erforderlich sind.

In Gegenwart von sauren oder alkalischen Verbindungen könnte ein Rezirkulationssystem erforderlich sein, das eine Säure- oder Laugendosierung beinhaltet.

- Die kryogene Kondensation wird betrieben, indem die Verdampfung von flüssigem Stickstoff als Kühlmedium verwendet wird, um VOC- Dampf an der Kondensatoroberfläche zu kondensieren. Der verdampfte Stickstoff wird verwendet, um eine inerte Umgebung zu gewährleisten. Eine Variante ist die Kondensation unter inerter Atmosphäre, d. h. Stickstoff, damit der Gasstrom höhere VOC- Konzentrationen enthalten kann. Beispiele der kryogenen Kondensation werden in Abbildung 3.50 und Abbildung 3.51 gezeigt [cww/tm/71].

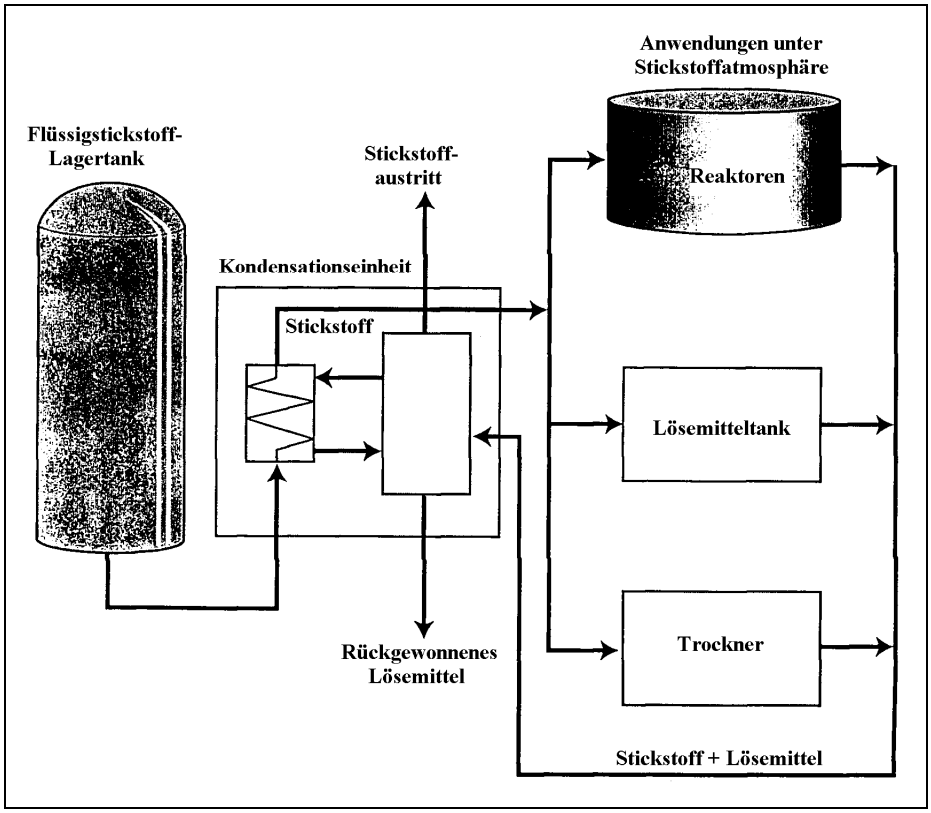

Abbildung 3.50: Kryogenes Kondensations-Rückgewinnungssystem mit integrierter Stickstoffschutzatmosphäre

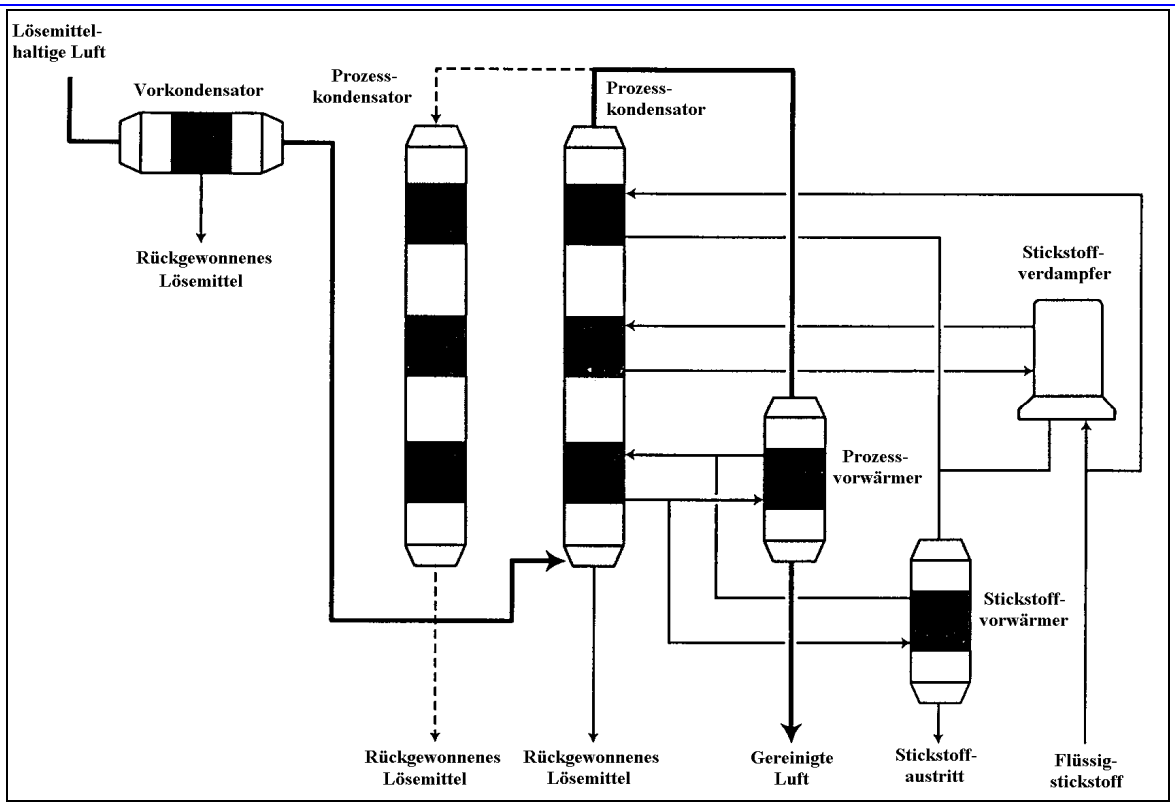

Abbildung 3.51: Kryogenes Rückgewinnungssystem unter inerter Atmosphäre

Das kryogene Kondensationssystem besteht aus:

- Vorkondensator, mit gekühltem Wasser oder Glykol,
- Hauptkondensator(en),
- Prozessvorwärmer,
- Stickstoffvorwärmer,
- Stickstoffverdampfer,
- erforderliche Absaugöffnungen und Leitungen.

- Eine typische Kreislauf-Inertgas-Kondensationsanlage besteht aus (siehe Abbildung 3.52 [cww/tm/71]):

  - Wärmeaustauscher, kühlt den Gasstrom vor,
  - Hauptkondensator, mechanisch bis auf -40 ºC gekühlt,
  - Lösemittelabscheider, Stickstoffversorgung.

Anwendung

Kühlmittelkondensation

Die Kühlmittelkondensation wird für mehr oder weniger gesättigte Gasströme (d. h. hoher Taupunkt) von flüchtigen Verbindungen (organische und anorganische) und Geruchssubstanzen angewendet. Die letzteren werden aus dem wassergesättigten Gasstrom entfernt, wobei das Wasser als Absorptionsmittel wirkt (vorausgesetzt, sie sind wasserlöslich).

Eine wichtige Anwendung der Kühlmittelkondensation ist die Vorbehandlung oder Nachbehandlung bei vor- oder nachgeschalteten Abgasbehandlungsanlagen. Die Entfernung der Haupt-VOC-Fracht entlastet die Behandlungsanlagen, wie Adsorber (siehe Abschnitt 3.5.1.3), Wäscher (siehe Abschnitt 3.5.1.4), Verbrennungsanlagen (siehe Abschnitt 3.5.2.4). Andererseits ist die Kondensation eine geeignete Nachbehandlung für angereicherte Gasströme z. B. von der Membrantrennung (siehe Abschnitt 3.5.1.1) oder Abwasserstrippung (siehe Abschnitt 3.3.4.2.14) und der Destillation (siehe Abschnitt 3.3.4.2.12).

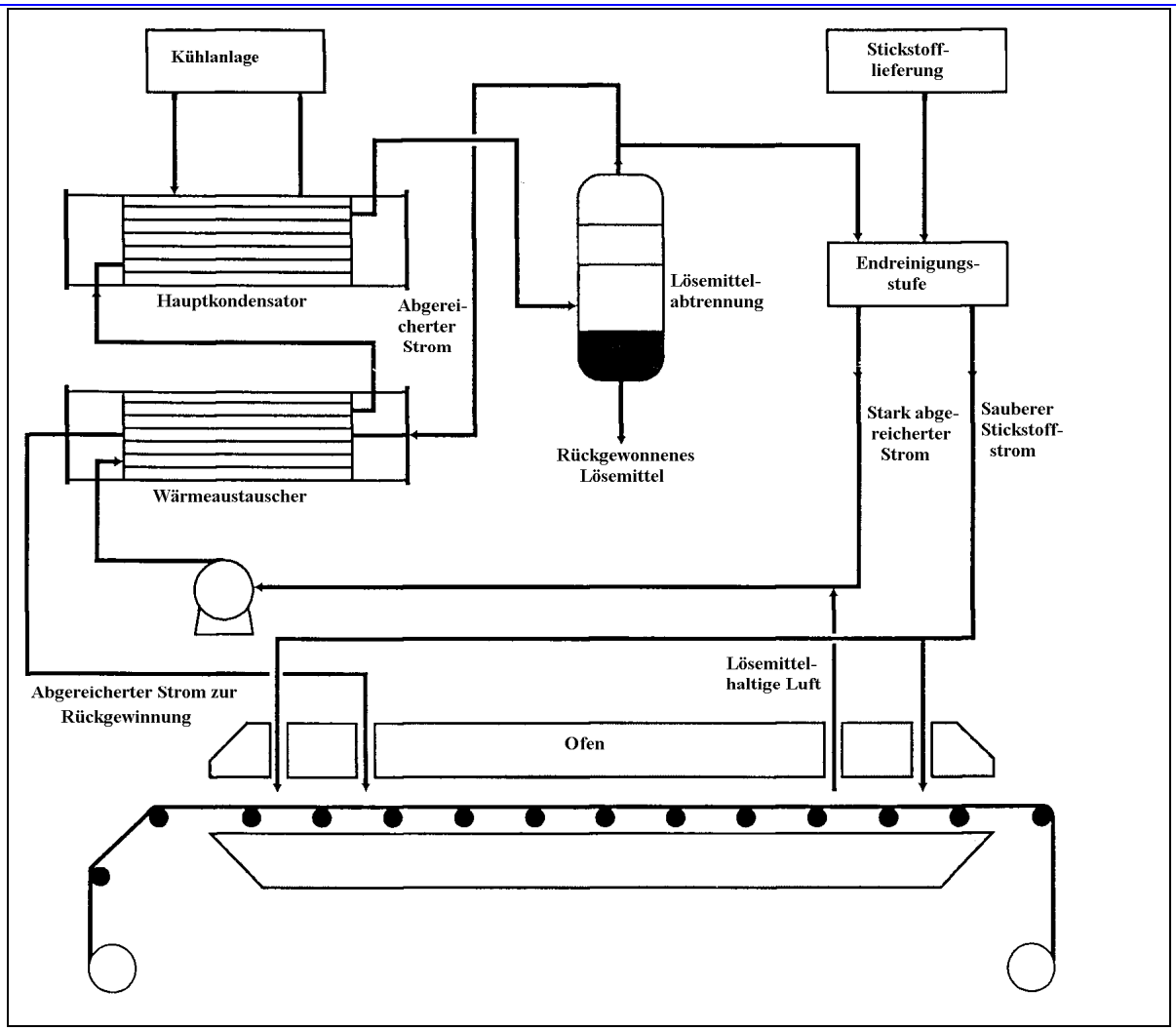

Abbildung 3.52: Typisches geschlossenes Kreislauf-Inertgas-Kondensationssystem

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind [cww/tm/70]:

	Grenzen / Beschränkungen
Gasstrom	100–100000 Nm^3/h
Eingangstemperatur	50–80 °C
Wassergehalt	bei Kondensation unterhalb 0 °C muss das Gas nahezu wasserfrei sein
Druck	atmosphärisch
Staub	<50 mg/Nm^3 (nicht verklumpt)
Geruchsstoffe	>100000 GE/Nm^3
Ammoniak	200–1000 mg/Nm^3

Kryogene Kondensation

Die kryogene Kondensation ist für alle VOC und flüchtigen anorganischen Schadstoffen geeignet, unabhängig von einzelnen Dampfdrücken. Die verwendeten niedrigen Temperaturen ermöglichen sehr hohe Kondensationsleistungen. Damit ist das Verfahren besonders gut für die Nachbehandlung von VOC-Emissionen geeignet. Andererseits erfordern Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes von Wasser ein nahezu wasserfreies Rohgas. Sie ist in der Lage, unmittelbar auf Änderungen der VOC-Fracht und Lösemittelbelastungen zu reagieren und kann praktisch jegliche VOC-Art unter verschiedensten Bedingungen zurückgewinnen. Diese Vielseitigkeit ist besonders geeignet für die VOC-Behandlung in Mehrprodukt- und Mehrzweckanlagen, wo diskontinuierliche oder kontinuierliche Verfahren angewandt werden [cww/tm/150].

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Gasstrom	bis zu 5000 Nm^3/h
Rohgastemperatur	bis zu 80 °C
Druck	2–600 kPa [1]
[1] [cww/tm/70]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Kühlmittelkondensation • Kompakte Technologie. • Gute Prozessführung, die Emissionen können in etwa berechnet werden. • Nachfolgende Behandlungsstufen sind von hohen Frachten befreit und können daher wirtschaftlicher betrieben werden. • Lösemittelrückgewinnung, vorausgesetzt der Gasstrom enthält keine schwer trennbaren VOC-Mischungen. • Wärmerückgewinnung ist möglich.	Kühlmittelkondensation • Die Kühlwassermenge ist in Gegenden mit Wasserdefizit ein Problem. • Wirksamkeit hängt beträchtlich von Gasgeschwindigkeit und Zusammensetzung ab. • Nachfolgender Aufarbeitungsschritt und/oder Behandlungsschritt ist notwendig.
Kryogene Kondensation • Kompakte Technologie. • Rückgewinnung von organischen Lösemitteln, vorausgesetzt, dass sie aus der kondensierten Mischung abgetrennt werden können. • Hohe Abtrennleistung von VOC. • Stickstoffgas wird zurückgeführt. • Gute Prozessführung möglich, die Emissionen können in etwa berechnet werden.	Kryogene Kondensation • Nicht geeignet für nasse Gasströme, da die Eisbildung den Wärmeübergang behindert. • Stickstofferzeugungsanlage notwendig oder externe Anlieferung von Stickstoff • Kühlmittel unterhalb 0 °C können Eisbildung auf dem Wärmetauscher verursachen.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Kühlmittelkondensation

Parameter	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]	Bemerkungen
Geruch	60–90 [1]		anfangs > 100000 GE/Nm^3
Ammoniak	20–60 [1]		anfangs 200-1000 mg/Nm^3
[1] [cww/tm/70]			

Kryogene Kondensation

Parameter	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]	Bemerkungen
Dichlormethan		<20-<40 [1]	bei –95 °C, anfangs 20-1000 g/Nm^3
Toluol		<100 [1]	bei –65 °C, anfangs 20-1000 g/Nm^3
Methylethylketon (MEK)		<150 [1]	bei –75 °C, anfangs 20-1000 g/Nm^3
Aceton		<150 [1]	bei –86 °C, anfangs 20-1000g/Nm^3
Methanol		<150 [1]	bei –60 °C, anfangs 20-1000 g/Nm^3
VOC		1000–5000 [1]	anfangs 200–1000 g/Nm^3
[1] [cww/tm/70]			

Medienübergreifende Wirkungen

Kühlmittelkondensation

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Kühlmedium (Luft, Wasser, Sole, Ammoniak-Sole)		stark von der jeweiligen Anwendung abhängig
Energie [kWh/1000 Nm^3]		Absaugvorrichtungen, Pumpen, Kühleinrichtungen
Druckabfall [kPa]	0,1–0,2 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Die aus der Kondensationseinrichtung entstehende Abwassermenge ist direkt proportional zur Menge der Kondensate, und damit direkt proportional zum Feuchtegehalt und der gewählten Kühltemperatur. Typische Bereiche der Kondensatinhalte sind:

- Kondensate von VOC: 200–1000 mg/l CSB,
- Kondensate von Ammoniak / Amine: 400–2000 mg/l Kjeldahl-N.

Kryogene Kondensation

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Kühlmedium Stickstoff	10–15 kg/kW Kühlung [1]	Abhängig von Bauart, Lösemitteltyp, usw.
Energie [kWh/1000 Nm^3]	70	Eingang bei 80 °C, Ausgang bei –70 °C
Druckabfall [kPa]	2–5 [2]	
[1] [cww/tm/71] [2] [cww/tm/70]		

Weitere Verbrauchsstoffe sind:

- Dampf als Auftaumittel, wenn der Kondensator wegen der Feuchtigkeit des Abgasstromes eingefroren ist,
- feuchtigkeitsfreie Druckluft für pneumatische Arbeitsschritte.

Das Kondensat kann wiederverwendet, aufbereitet oder entsorgt werden.

Der Verbrauch an Flüssigstickstoff wird unterteilt in:

- Stand-by-Prozess (Aufrechterhalten der Temperatur),
- Kühlung des eintretenden Gasstromes für die Kondensation.

Nach dem Kondensationsprozess gibt es immer noch ziemlich hohe VOC- Konzentrationen, die eine weitere Behandlung erfordern (z. B. Adsorption oder Verbrennung).

Inertgas-Kreislaufkondensation

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Stickstoff als Inertgas, für Notfall-löschungen und /oder Kühlung	1–2 Tonnen/Tag [1]	
Energie [kWh/1000 Nm^3]		Absaugvorrichtungen, Pumpen, Kühleinrichtungen
Druckabfall [kPa]		
[1] [cww/tm/71]		

Überwachung

Der Wirkungsgrad des Kondensationssystems als Luftreinigungssystem kann bestimmt werden, indem die Konzentrationen der Lösemitteldämpfe vorher und nachher überwacht werden. VOC kann als Gesamtkohlenstoff - ohne Staub -, mit Hilfe des Flammenionisations-Detektors gemessen werden. Der Minderungsgrad für Geruchsemissionen wird bestimmt, indem eine Stichprobe an dem entsprechenden Probeentnahmepunkten entnommen wird und diese anschließend mittels Geruchsstoffmessung (Olfaktometrie) untersucht wird. Kryogene Systeme erfordern eine Überwachung des Druckabfalls.

Kryogene Systeme verwenden eine programmierbare Logik-Kontrolleinheit um den Stickstoffbedarf für die Kühlung zu kontrollieren. Eine automatische Betriebsweise sollte möglich sein, vorausgesetzt die erforderlichen Warnsysteme sind vorhanden und Routineuntersuchungen werden in jeder Schicht vom Betreiber durchgeführt.

Zusätzlich sind in Inertgaskreislaufsystemen Sauerstoffbestimmungen durchzuführen, um sicherzustellen, dass in der Inertgasatmosphäre weniger als 5 % Sauerstoff (aus Sicherheitsgründen) im Absaugstrom des Ofens aufrechterhalten wird. Wenn der Sauerstoffgehalt zu hoch ist, wird Stickstoff eingespeist, um die Inertgasatmosphäre wieder herzustellen [cww/tm/71].

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten		
	Kühlmittelkondensation	Kryogene Kondensation	Geschlossene Inertgas-Kreislaufkondensation
Kapitalkosten [a]	EUR 5000 [b] [1]	EUR 500000 [c] [1]	
Betriebskosten: Laborkosten	2 h pro Woche + 1 Personentag pro Jahr [1]	1 Personentag pro Woche [1]	

[a] pro 1000 Nm^3/h
[b] ohne Pumpen, Rohre, Kühlturm
[c] ohne nachfolgende Techniken und Stickstofflagerung
[1] [cww/tm/70]

Der Gewinn ist das zurückgewonnene VOC.

Kostenfaktoren [cww/tm/71]:

Faktoren	Einfluss/ Ergebnisse
Emissionsgeschwindigkeit	Gesamtgröße des Systems, Betriebsmittel erforderlich
Erforderliche Temperaturabsenkung, d. h. Kühlmenge	Ausrüstungskosten (direkt proportional), Lieferung von Kühlmitteln (direkt proportional)
Lösemittelmischungen	Komplexität der nachgeschalteten Trennverfahren (direkt proportional), Energieaufwand der Trennverfahren (direkt proportional)
Löslichkeit des Lösemittels	Komplexität der nachgeschalteten Trennverfahren (direkt proportional); Energieaufwand der Trennverfahren (direkt proportional)

Umrüstbarkeit [cww/tm/71]:

Kühlmittelkondensation	Kryogene Kondensation	Geschlossene Inertgaskondensation
leicht umrüstbar, wenn Kühlwasser verfügbar ist, mit einem Wärmetauscher, der nahe oder oberhalb des entsprechenden Anlagenteils angebracht ist	kann auf Gestell montiert werden, kann jeden Stickstoffverdampfer ersetzen, sollte nahe bei Flüssigstickstoffquelle installiert sein, um die Länge der kryogenen Rohrleitungen gering zu halten; Systeme können entweder bei bestehenden Anlagen umgerüstet werden oder in neue Betriebe integriert werden	bei bestehenden Betrieben schwierig nachzurüsten, sie sind mehr für neue Betriebe geeignet

3.5.1.3 Adsorption

Beschreibung

Die Adsorption ist eine heterogene Reaktion, bei der die Gasmoleküle auf der Feststoffoberfläche festgehalten werden (Adsorbens), wobei spezifische Verbindungen bevorzugt werden und diese somit vom Abgasstrom entfernt werden. Wenn die Oberfläche nahezu vollständig adsorbiert ist, wird die adsorbierte Menge desorbiert, was ein Bestandteil der Regenerierung des Adsorptionsmittels ist. Bei der Desorption liegen die Schadstoffe in einer höheren Konzentration vor und können entweder zurückgewonnen oder behandelt (zerstört) werden [cww/tm/135].

Die hauptsächlichen Arten von Adsorptionssystemen sind:

- Festbett-Adsorption,
- Wirbelschicht-Adsorption,
- Kontinuierliche Wanderbettadsorption,
- Druckwechseladsorption (PSA).

Festbett-Adsorptions-Verfahren (siehe Abbildung 3.53 [cww/tm/71]) werden häufig benutzt. Abgas, Abluft, usw. werden mittels Kühlen, Teilkondensation des Wasserdampfes und Erwärmen vorbehandelt, um die relative Feuchtigkeit zu verringern, damit die Co-Adsorption von Wasser minimiert wird. Das Gas wird bei 40 °C in den Adsorber geleitet, strömt nach oben und verlässt ihn gereinigt. Um die Regeneration zu ermöglichen, werden die Adsorber allgemein als Mehrbett (2 oder 3)Anlagen betrieben, d. h. ein Bett wird beladen, das andere regeneriert. Optional befindet sich ein drittes Bett im Stand-By-Modus. Ein Doppelbett-Adsorptionsverfahren wird in Abbildung 3.53 dargestellt.

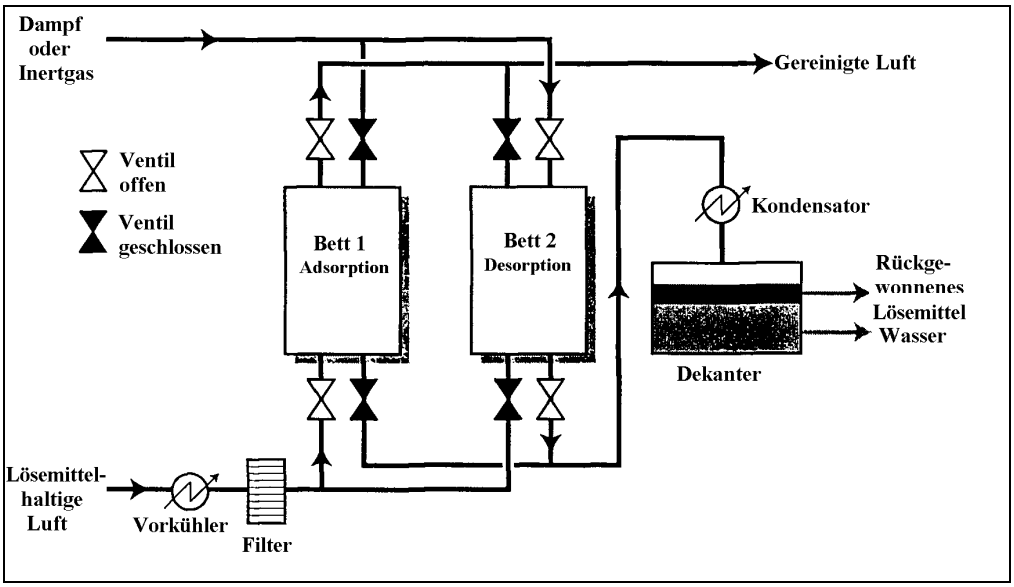

Abbildung 3.53: Typisches Doppelbett-Adsorptionsverfahren

Wirbelschicht-Verfahren (siehe Abbildung 3.54 [cww/tm/132]) benutzen die Gasgeschwindigkeit (hauptsächlich im Bereich von 0,8–1,2 m/s), um das Adsorptionsmittel in ein Wirbelstadium zu versetzten. Dieses System erfordert abriebfeste Adsorptionskügelchen. Sie werden mit kontinuierlicher Adsorption/Desorption gefahren, und das Adsorptionsmittel wird in einem Wärmetauscher unterhalb des Adsorbers regeneriert und dann unmittelbar pneumatisch in das Wirbelbett zurückgeführt.

Mit dem **kontinuierlichen Wanderbett-Verfahren** (siehe Abbildung 3.55 [cww/tm/71]) wird das Adsorptionsmittel kontinuierlich auf den oberen Teil des Adsorbers geführt und passiert den Gasstrom im Gegenstrom. Das am Boden des Behälters gesättigte Adsorbens wird kontinuierlich in den Wanderbett-Regenerator überführt.

Die Druckwechseladsorption (PSA) kann Gase oder Dämpfe in einer Abgasmischung trennen und gleichzeitig das Adsorbens regenerieren. Sie beinhaltet vier Schritte:

Schritt 1: Druckaufbau durch einströmendes Gas in den Adsorber
Schritt 2: Adsorption bei hohem Druck und damit Erzeugen reiner Komponenten
Schritt 3: Druckentspannung
Schritt 4: Reinigen bei geringem Druck oder unter Vakuum.

Diese vier Schritte bewirken eine Komponententrennung entsprechend ihrer Bindungsstärke mit dem Adsorbens. Mit nachgeschalteten Reinigungseinrichtungen verbessert diese Technik die Leistung der Rückgewinnung und Wiederverwendung von Abgasmischungen.

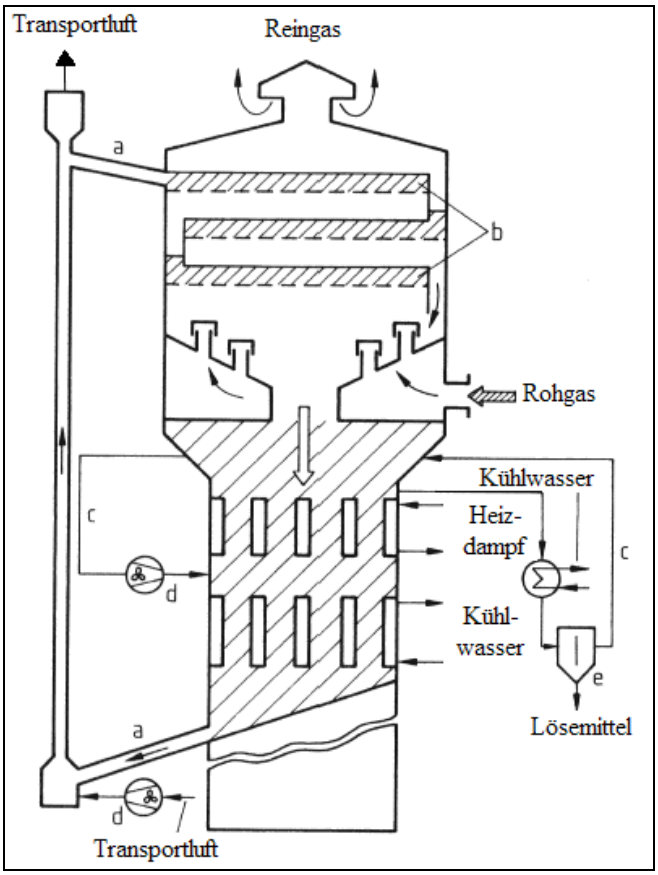

Abbildung 3.54: Wirbelschicht Adsorption
a) regeneriertes Adsorptionsmittel, b) Wirbelbett, c) Inertgas, d) Gebläse, e) Abscheider

Typische Adsorptionsmittel sind, z. B. [cww/tm/71]:

- Granulierte Aktivkohle (GAK), das bekannteste Adsorptionsmittel mit einem großen Leistungsbereich, nicht begrenzt auf polare oder unpolare Verbindungen, GAK kann imprägniert sein mit, z. B. Oxidationsmittel wie Natrium-Permanganat oder mit Schwefelverbindungen (verbessert die Rückhaltung von Schwermetallen) [cww/tm/70];

- Zeolite, deren Eigenschaften von der Herstellung abhängen, arbeiten entweder nur als Molekularsiebe, selektiver Ionenaustauscher oder als hydrophober VOC-Adsorber;
- Makroporöse Polymerteilchen , die als Granulate oder als Kügelchen verwendet werden, sind nicht hoch selektiv bzgl. VOC;
- Silicagel;
- Natrium-Aluminium Silikate.

Neben den oben beschriebenen kontinuierlichen und gleichzeitigen Regenerationsmethoden, gibt es eine Reihe von Methoden, das Adsorptionsmittel der Festbett-Adsorber zu regenerieren:

- Temperaturwechsel-Regeneration,
- Vakuum-Regeneration,
- PSA, oben beschrieben.

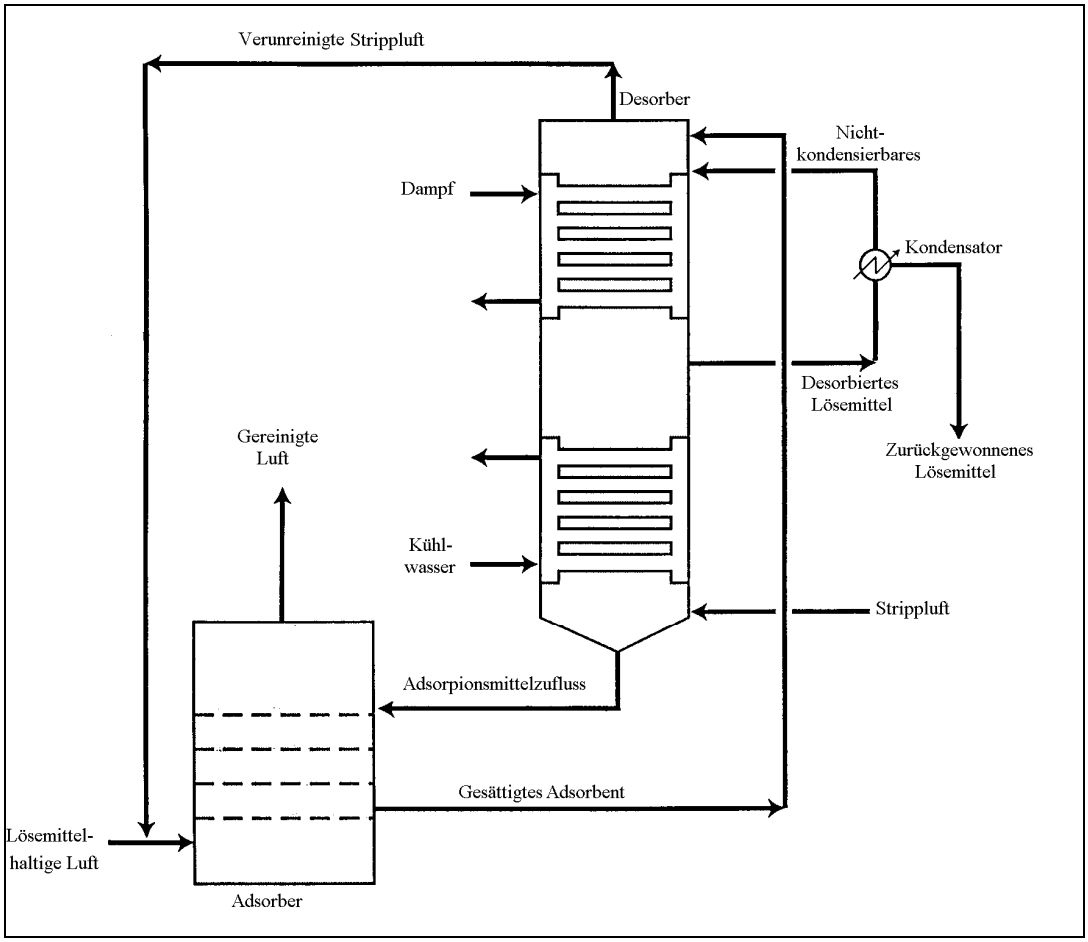

Abbildung 3.55: Kontinuierliche Wanderbett Adsorption und Desorption

Temperaturwechsel-Regeneration verwendet verschiedene Wärmequellen:

- Dampf, am bekanntesten,
- Mikrowellen,
- eingebaute Heizkörper,
- erhitztes Gas, Verwendung von inertem Heißgas aus Sicherheitsgründen bei Aktivkohle (GAK) als Adsorptionsmittel.

Überhitzter Dampf strömt abwärts durch das Adsorptionsmittel und befördert die angereicherten Verbindungen in die Kondensations- und Abtrenneinheit, wie Schwerkraftabscheider oder Destillationseinheiten. Überhitzter Dampf wird meistens für die Regeneration von Aktivkohle verwendet. Es werden auch erhitzte Inertgase verwendet. Zeolite können mittels heißer Luft regeneriert werden. Polymeradsorber erlauben wesentlich niedrigere Regeneriertemperaturen für Dampf oder Heißgas (etwa 80 °C).

Vakuum Regeneration ermöglicht die Desorption bei Raumtemperatur und ist damit geeignet, empfindliche Substanzen zurückzugewinnen und wiederzuverwenden. Diese Methode wird für Aktivkohle, Zeolite und polymere Adsorptionsmittel verwendet.

Anwendung

Anwendungen der Adsorption sind:

- Rückgewinnung von VOC (Rohmaterial, Produkte, Lösemittel, Treibstoff aus Betankungsvorgängen, usw.) für die Wiederverwendung oder Rückführung, möglich als Konzentrierungsschritt, zur Verbesserung der Realisierbarkeit weiterer Rückgewinnungsverfahren wie die Membranabtrennung (siehe Abschnitt 3.5.1.1).
- Behandlung von Schadstoffen (gefährliche Stoffe aus Herstellungs- oder Behandlungsanlagen [z. B. AWBA] wie z. B. VOC, Gerüche, Spurengase usw.), die nicht zurückgeführt oder anderweitig genutzt werden können. Hierfür kann Aktivkohle als Adsorptionsmittel eingesetzt werden, das nicht regeneriert, sondern verbrannt wird.
- Als Sicherheitsfilter nach Nachbehandlungsanlagen.

Die Anwendung als Behandlungstechnologie wird für Abgase mit hohen VOC-Konzentrationen nicht empfohlen, da die nachfolgenden Anforderungen für die Regeneration die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflussen. Es gibt normalerweise besser geeignete Verfahren.

Das Adsorptionstechnologie ist anwendbar für die Behandlung, Rückgewinnung, Wiederverwertung, Rückführung oder Vorbereitung (für nachfolgende Behandlung) von VOC und gefährlicher organischer Luftschadstoffemissionen. Diese Emissionen stammen z. B. aus:

- Entfettung,
- Lackieren,
- Lösemittelextraktion,
- Metallfolienbeschichtung,
- Kunsstofffolienbeschichtung,
- Papierbeschichtung,
- Pharmazie,
- Heizgas, Benzin, usw.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen		
	Aktivkohle	**Zeolite**	**Polymere**
Gasstrom [Nm^3/h]	100–100000 [1]	<100000 [1]	
Temperatur [°C]	15–80 [1]	<250 [1]	
Druck [MPa]	0,1–2 [1]	atmosphärisch [1]	
VOC-Gehalt	maximal 25 % der UEG	maximal 25 % UEG	maximal 25 % UEG
Dioxine [ng/Nm^3 TEQ]	10–100 [1]		
Relative Feuchtigkeit	maximal <70 % so gering wie möglich		
[1] [cww/tm/70] (UEG: untere Explosionsgrenze;)			

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hoch wirksam zur Entfernung und Rückgewinnung von VOC. • Einfache und robuste Technologie. • Hoher Sättigungsgrad des Adsorptionsmittels. • Einfache Installation. • Einfache Wartung.	• Teilchen im Abgasstrom können Probleme verursachen. • Mischungen können ein frühzeitiges Durchbrechen verursachen. • Nicht geeignet bei nassen Abgasströmen. • Brandgefahr des Bettes (Aktivkohle und Zeolite, wobei Polymere bei niedrigeren Temperaturen betrieben werden). • Gefahr der Polymerisation der ungesättigten, organischen Verbindungen auf der Aktivkohle.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]	Bemerkungen
VOC	80–95 [1]		Aktivkohle
Toluen	90 [1]		Aktivkohle
Geruch	80–95 [1]		Aktivkohle, Zeolite
Quecksilber		<0,01-0,05 [1]	Aktivkohle
Schwefelwasserstoff	80–95 [1]		Aktivkohle
Dioxine		<0,1 ng/Nm^3 TEQ [1]	Aktivkohle
[1] [cww/tm/70]			

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge			Bemerkungen
	Aktivkohle	Zeolite	Polymere	
Dampf (Desorption) [kg/kg zurück gewonnenes Lösemittel]	1,5-6 [1]			
Stickstoffgas (Heissgasdesorption) [Nm^3/Tonne Lösemittel]	35 [1]			
Kühlwasser (Kondensation) [m^3/Tonne Lösemittel]	35–60 [2] 100–150			für alle 3 Adsorptionsverfahren
Verlust an Adsorptionsmittel [kg/Tonne Lösemittel]	0,5–1 [2]			
Druckabfall [kPa]	2–5 [2]			
Energie [kWh/Tonne Lösemittel]	35–100 [2] 130–260			
[1] [cww/tm/71] [2] [cww/tm/64]				

Die Dampfregeneration erzeugt Abwasser mit relativ hoher Schadstofffracht, das zur Abwasserbehandlung abgeleitet werden muss. Wenn keine Regeneration durchgeführt wird, muss das Adsorptionsmittel beseitigt werden, d. h. normalerweise zur Verbrennung gebracht werden (nicht geeignet für quecksilberhaltige Adsorptionsmittel). Die Regeneration und/oder Beseitigung der Absorptionsmittel kann auch durch externe Firmen vorgenommen werden.

Eine nachfolgende Gasbehandlung kann aufgrund der rechtlichen Anforderungen notwendig sein.

Da alle Adsorptionsprozesse exotherm sind, bewirken sie eine Temperaturerhöhung, die für organische Verbindungen nicht erwünscht ist. Kohlenstoff oder Metalle auf Aktivkohle als auch auf Zeoliten können die Oxidation von einigen Komponenten katalysieren. Wenn das Adsorptionsmittel heiß ist, kann dies zu einem Verbrennen des Bettes führen, wobei ein Teil der Aktivkohle verbraucht wird, jedoch kein Zeolit. Es ist gefährlich, wenn einige Kohlenwasserstoffe (wie Ketone oder vergleichbar aktive Verbindungen) bei Umgebungstemperatur adsorbiert werden und bei dieser Temperatur eine Oxidation der organischen Verbindungen stattfindet. Solch ein Aktivkohle-Bett-Brand kann entweder die Porengröße des Restbettes verändern, oder das Bett zu Asche oxidieren- ein schwerer Störfall, bei dem die gesamte Einrichtung abbrennen kann. Dieses Feuer kann unterdrückt werden, indem die Luft angefeuchtet wird oder die Aktivkohle gezielt gekühlt wird.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung des Systems wird mittels Messung der Konzentration des VOC / der Geruchsstoffe davor und danach bestimmt. VOCs können als Gesamtkohlenstoff (ohne Schwebstaub) mittels Flammenionisations-Detektor gemessen werden. Eine qualitative Analyse der Emissionen kann durchgeführt werden, wenn eine Stichprobe des Gases von ausgewählten Probenahmepunkten genommen wird und anschließend mittels GC/MS oder GC/FID analysiert wird. Die Reinigungsleistung für Geruchemissionen wird bestimmt, indem eine Stichprobe an geeigneten Probenahmepunkten genommen wird und nachfolgend mittels Olfaktometer analysiert wird.

Die wichtigste Messung ist der Druckabfall über den Staubfiltern und über dem Adsorptionsbett. Über den Filtern sollte der Druck nach der Erneuerung oder Reinigung stetig steigen. Ein zu starkes Ansteigen warnt vor einem späteren zu hohen Druckgefälle, das durch eine übermäßige Staubfracht verursacht wird.

Über dem Bett sollte der Druck annähernd konstant bleiben. Ein Ansteigen signalisiert entweder, das der Staub am Staubfilter vorbei geleitet wird oder Adsorptionsmittelstaub von zerstörtem Granulat auftritt. Es sollte eine Alarmeinrichtung für einen hohen Druck vorhanden sein.

Eine Temperaturüberwachung des Austrittsgases aus dem Aktivkohle-Adsorber ist erforderlich, um die Feuergefahr zu vermeiden.

Adsorptionssysteme werden gewöhnlich mittels programmierbaren Steuerungen mit neuen Systemen, die auf der Durchbruchsequenz des Bettes basieren, betrieben. Wenn der Emissionswert des betriebenen Bettes einen vorgewählten Wert erreicht, wird das Bett umgeschaltet und die Regeneration beginnt. Dies ist spart Energie ein, da die Desorption nur mit gesättigtem Bett durchgeführt wird.

Bezüglich der Entzündungsgefahr, können Behandlungssysteme so gestaltet sein, dass sie eine Lösemittelkonzentration bis zu 25 % der unteren Explosionsgrenze ermöglichen. Damit können sowohl die Energie für das Gebläse als auch der Dampfverbrauch minimiert werden. Wenn die Strömungsgeschwindigkeit und die Lösemittelfracht variabel sind, kann der Energiebedarf optimiert werden, indem Kontrollklappen oder ein regelbarer Antrieb für das Gebläse eingebaut sind. [cww/tm/71]

Ökonomische Daten

Kostenart	Aktivkohle (GAC)	Zeolite	Polymer	Bemerkungen
Kapital [pro 1000 Nm^3/h]	EURO 5000-10000 [1]			ohne Regeneration
	EURO 240000 [1]			mit Regeneration [a]
Betriebskosten				
Betriebsmittel				
Verbrauchsstoffe	EURO 600–1300 pro Tonne Aktivkohle			einschließlich Beseitigung

[a] Anlage für 1000 Nm^3/h
[1] [cww/tm/70]

Kostenfaktoren [cww/tm/71]:

Faktoren	Einfluss / Ergebnisse
Emissionsmengenstrom	Gesamtgröße des Systems, Anforderung an Betriebsmittel
Lösemittel-Adsorptionsleistung, Lösemittelkonzentration	Menge des benötigten Adsorptionsmitttels
Lösemitteltyp	Wahl des Adsorptionsmittels
Löslichkeit des Lösemittels	Komplexität der nachfolgenden Trennverfahren (direkt proportional zur Löslichkeit), Energiebedarf der Trennverfahren (direkt proportional)
Lösemittelmischungen	Komplexität der nachfolgenden Trennverfahren (direkt proportional zur Löslichkeit), Energiebedarf der Trennverfahren (direkt proportional)
Lösemittelbeladung	Verwendung von Hilfsmittel (Dampf) im Adsorptions-/Desorptionskreis und Grad der Verschlechterung des Adsorptionsmittels
Gegenwart von Verunreinigungen	Verringerung der Standzeit des Adsorptionsmittels
Leichtigkeit der Lösemitteldesorption	Desorptionstemperatur

Nachrüstbarkeit [cww/tm/71]:

Aktivkohle (GAC)	Zeolite	Polymere
Sofern ausreichender Raum zur Verfügung steht, ist es im Allgemeinen problemlos möglich, ein Adsorptionssystem zu einem bestehenden Herstellungsprozess nachzurüsten. Der Platzbedarf für eine kontinuierliche Adsorptions- /Desorptionseinheit beträgt ungefähr 25 % von dem eines Doppelbett-Adsorptionssystems.		

3.5.1.4 Nasswäscher zur Gasentfernung

Beschreibung

Die Nasswäsche (oder Absorption) ist ein Masseübergang zwischen einem löslichen Gas und einem Lösemittel - oft Wasser - die miteinander in Kontakt kommen. Das Physikalische Waschen wird für die Rückgewinnung von Chemikalien bevorzugt, wohingegen das Chemische Waschen auf die Entfernung und Behandlung gasförmiger Verbindungen begrenzt ist. Physikalisch-chemisches Waschen nimmt eine Zwischenstellung ein. Die Komponente wird in einer Absorptionsflüssigkeit gelöst und in eine reversible, chemische Reaktion einbezogen, die eine Rückgewinnung der gasförmigen Komponente ermöglicht [cww/tm/132].

Die meisten Anwendungen der Abgasbehandlung mittels Waschverfahren sind:

- Entfernung von gasförmigen Schadstoffen, wie Halogenwasserstoffen, SO_2, Ammoniak, Schwefelwasserstoff oder flüchtigen organischen Lösemitteln,
- Entfernung von SO_2 oder Halogenwasserstoffen,
- aber auch Staubentfernung mit bestimmten Wäschertypen (siehe Kapitel 3.5.3.4)

Abhängig von der Art der zu entfernenden Schadstoffe, werden mehrere wässrige Waschflüssigkeiten benutzt:

- Wasser, um Lösemittel und Gase wie Halogenwasserstoffe oder Ammoniak zu entfernen, um die Verunreinigungen zurückzugewinnen und wiederzuverwenden;
- Alkalische Lösungen, um saure Komponenten wie Halogenwasserstoffe, Schwefeldioxid, Phenole, Chlor zu entfernen; ebenfalls benutzt als zweite Stufe, um restliche Halogenwasserstoffe nach dem ersten wässrigen Absorptionsschritt zu entfernen; Biogas-Entschwefelung;
- Alkalische Lösungen von Oxidationsmitteln, d. h. alkalische Lösungen mit Natriumhypochlorit, Chlordioxid, Ozon oder Wasserstoffperoxid;
- Lösungen von Natriumhydrogensulfit, um Gerüche (z. B. Aldehyde) zu entfernen;
- Na_2S_4–Lösungen, um Quecksilber aus dem Abgas zu entfernen;
- Saure Lösungen, um Ammoniak und Amine zu entfernen;
- Lösungen von Monoethanolamin und Diethanolamin, geeignet für die Absorption und Rückgewinnung von Schwefelwasserstoff.

Verschiedene Wäscher werden betrieben, z. B.:

- Wäscher mit Faserpackung,
- Wanderbett-Wäscher,
- Schüttgutwäscher,
- Prallplattenwäscher,
- Sprühturm.

Ihre Auswahl hängt ab von:

- Anforderung an die Leistungsfähigkeit,
- Energiebedarf,
- Reagenzien,
- Eigenschaften des Abgasstroms.

Eine optimale Bauart des Wäschersystems zum Erreichen geringer Endkonzentrationen zeichnet sich aus durch eine hohe Zuverlässigkeit, eine automatische Betriebsführung und eine Gegenstromführung von Flüssigkeit und Gas. Wäscher werden gewöhnlich mit Vorkühler betrieben (z. B. Sprühkammer und Quenche), um die Einlassgastemperatur zu verringern und gleichzeitig den Gasstrom zu sättigen, womit eine Verringerung des Absorptionsgrades und die Lösemittelverdampfung vermieden wird. Solche zusätzlichen Geräte bewirken einen geringen Druckabfall.

- **Wäscher mit Faserpackung**
  Der mit Fasern gepackte Wäscher (Faserbett-Wäscher) besteht aus einer Kammer mit Gaseintritt und -austritt, die aus mit Fasern gepackten Matten bestehen, welche mit Flüssigkeit besprüht werden. Die Einheiten können für horizontalen und vertikalen Gasstrom ausgelegt sein. Typische Gewebematerialien sind Glas, Kunststoff und Stahl. Sie werden benutzt, um saure Komponenten (Fluorwasserstoff, Chlorwasserstoff, Schwefelsäure und Chromsäure) und organische/anorganische Verbindungen aus den Abgasströmen zu entfernen.

  Verstopfungen der Düsen, des Faserbettes und ungenügende Befeuchtung der Fasermatten können Probleme verursachen.

  Abgasströme werden oft vor dem Eintritt in den fasergepackten Wäscher gekühlt, um soweit wie möglich die Flüssigkeit in dem Strom zu kondensieren und die Größe der vorhandenen Aerosolteilchen mittels Kondensation zu erhöhen. Es wird im Allgemeinen ein Vorfilter benutzt, um größere Teilchen aus dem Gasstrom zu entfernen, bevor er in den Wäscher eintritt [cww/tm/110].

- **Wanderbett-Wäscher**
  Wanderbett-Wäscher bestehen aus Zonen mit beweglichen Packungen, gewöhnlich Kunststoffkügelchen. Im Behälter müssen Stützgitter, auf denen das Packungsmaterial liegt, Ein- und Ausgänge für die Gaswaschflüssigkeit und ein Tropfenabscheider enthalten sein. Wanderbett-Wäscher werden verwendet, um Schwefeldioxid, Fluorwasserstoff und Gerüche zu entfernen. Sie werden auch genutzt, um Abgas zu behandeln, welches Staub enthält und wenn sich Ablagerungen bilden könnten. Ein typisches Gerät wird in Abbildung 3.56 gezeigt [cww/tm/79].

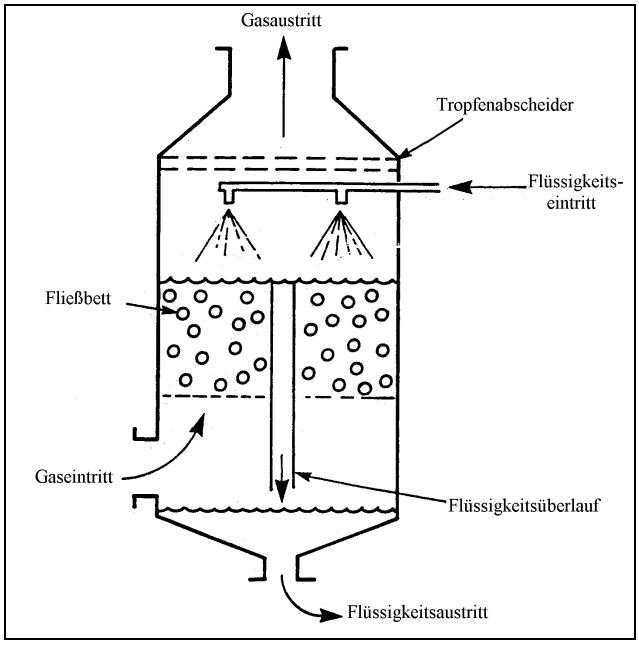

Abbildung 3.56: Wanderbett-Wäscher

Wanderbett-Wäscher sind mit Kunststoffkügelchen geringer Dichte gepackt, die in Stützgittern frei beweglich sind. Diese Wäscher sind für Verstopfungen weniger anfällig, weil die sphärischen, hohlen Kunststoffkugeln in einem konstanten Zustand der Bewegung und des Fließens gehalten werden. Die mobil gepackte Säule widersteht dem Verblocken. Diese konstante Bewegung und die glatte Oberfläche der Kugeln verhindern den Abrieb von Anhaftungen an der Packung.

- **Festbettwäscher**
  Festbettwäscher bestehen aus einer äußeren Hülle, in der sich ein Bett mit unterschiedlich geformtem Packmaterial auf einem Stützgitter befindet, mit Flüssigkeitsverteilern, Gasein- und Gasaustritten und einem Tropfenabscheider. Bei senkrechter Bauweise (gepackte Türme) bewegt sich der Gasstrom im Gegenstrom zur Flüssigkeit in der Kammer nach oben. Sie sind die am häufigsten benutzten Gasabsorber zur Schadstoffbehandlung. Mit geeigneten Reagenzien versehene Festbettwäscher werden für die Absorption von Schwefeldioxid, Chromsäure, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Chloriden, Fluoriden und VOC verwendet. Ein typisches Beispiel ist in Abbildung 3.57 dargestellt [cww/tm/79].

  Festbett-Wäscher sind wegen der Verstopfungen für die Staubabscheidung ungeeignet. Sie sind allgemein auf die Anwendungen beschränkt, bei denen der Teilchengehalt weniger als 0,5 g/Nm^3 beträgt. Verblockung und Abrieb sind ernsthafte Probleme für Festbettwäscher, weil die Packung im Vergleich zu anderen Wäscherbauarten schlecht zugänglich und zu reinigen ist. Folglich kann es erforderlich sein, dass ein hocheffektiver Teilchenabscheider dem Festbett-Absorber vorgeschaltet wird.

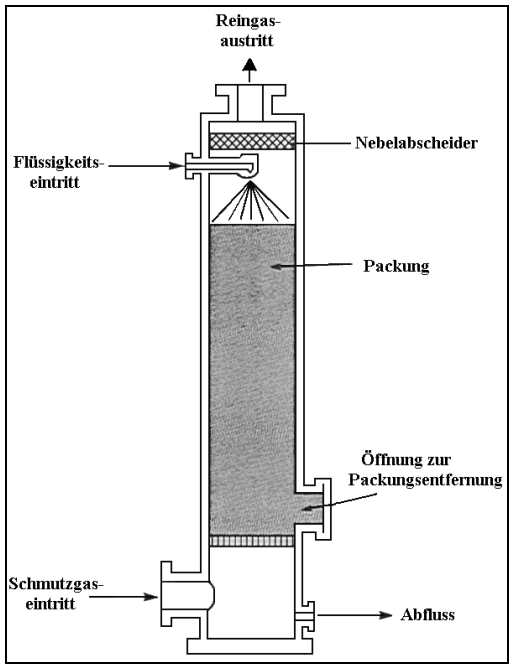

Abbildung 3.57: Festbettwäscher

- **Prallplatten-Wäscher**
  Prallplattenwäscher bestehen aus einem senkrechten Turm mit mehreren gestapelten, horizontal perforierten Einsätzen (Blasenkappen oder Sieben). Oberhalb der Öffnungen in den Platten sind in geringem Abstand Leitbleche angebracht. Die typische Anwendung für Plattenwäscher ist die Absorption von Säuren, Schwefeldioxid und Geruchsstoffen. Ein Beispiel wird in Abbildung 3.58 gegeben[cww/tm/79].

  Plattenwäscher sind für schäumende Flüssigkeiten nicht geeignet. Wenn die Absorption zur Behandlung von VOC verwendet wird, sind Festbettwäscher normalerweise kostengünstiger als Plattenwäscher. Die Prallplattenbauart wird gegenüber dem Festbettwäscher bevorzugt, wenn entweder eine interne Kühlung notwendig ist, oder wenn die geringe Flüssigkeitsmenge nicht zu einer ausreichenden Befeuchtung des Packmaterials führen würde.

  Plattenwäscher werden typischerweise wegen ihres hohen Wirkungsgrades und der leichten Wartung verwendet. Sie sind so gestaltet, dass der Betreiber einen leichten Zugang zu jedem Einbau hat und die Reinigung und Wartung relativ einfach sind. Die Höhe der Kolonne und die Menge des Packmaterials und/oder die Anzahl der Metalleinsätze, über denen der Druckabfall in der Kolonne auftritt, bestimmen den Abgasstrom. Der bestimmende Faktor bei der Auswahl des Wäschers ist der Druckabfall. Daher sind Plattenwäscher im Vergleich zu anderen Gasreinigungsmethoden, unter Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, vorteilhafter. Bei großen Gasströmen weisen Plattentürme einen größeren Druckabfall auf und besitzen eine größere Verweilzeit der Flüssigkeit.

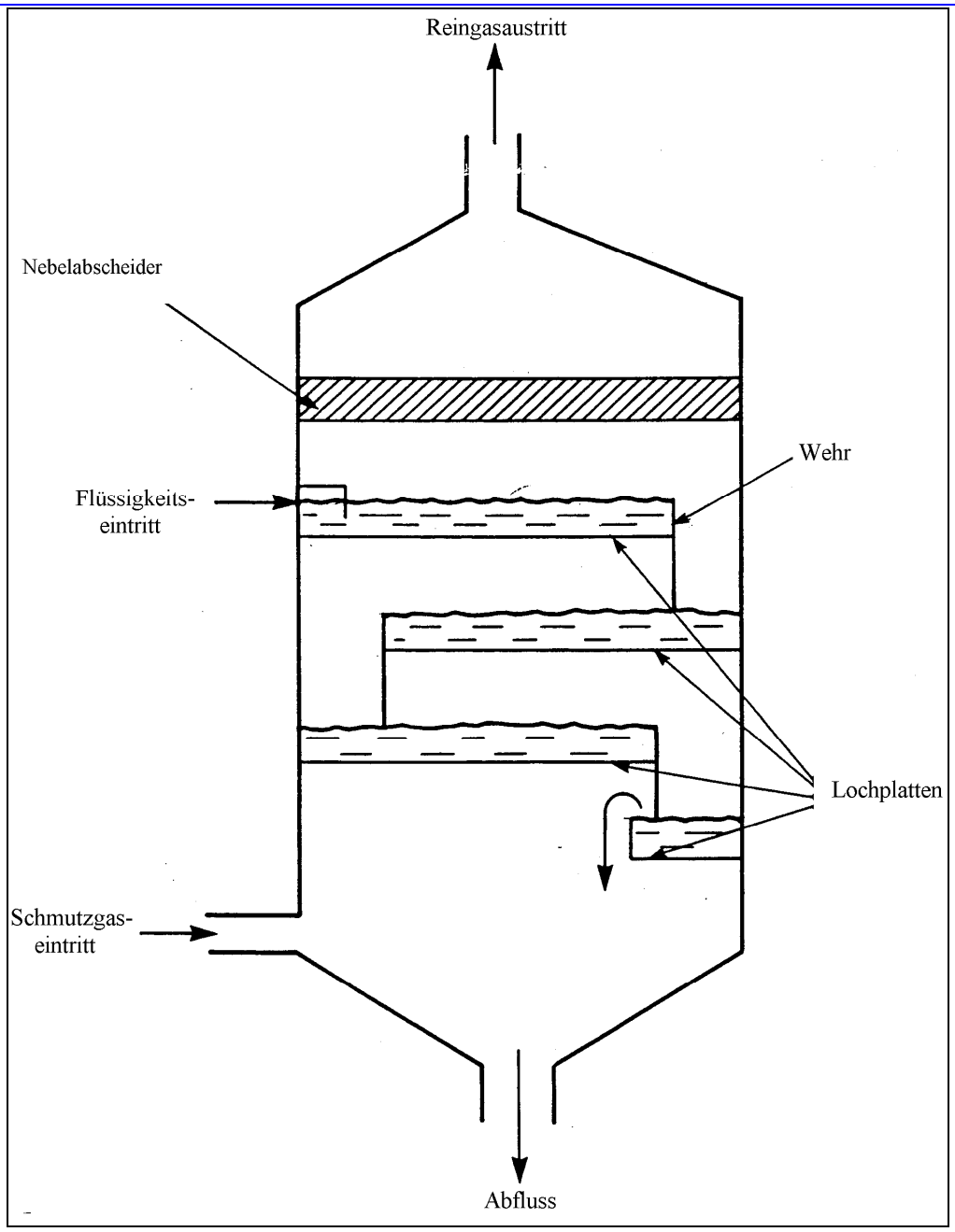

Abbildung 3.58: Prallplatten-Wäscher

Die chemische Absorption von giftigen, gasförmigen Verunreinigungen wie Schwefeldioxid, Chlor und Schwefelwasserstoff kann erreicht werden, wenn der Luftstrom mit geeigneten Chemikalien auf den Platten in Kontakt gebracht wird. Festbettkolonnen werden den Plattentürmen jedoch vorgezogen, wenn Säuren oder andere korrosive Medien enthalten sind, da die Turmkonstruktion aus Glasfasern, PVC oder anderen kostengünstigen korrosionsfesten Materialien bestehen kann.

- **Sprühtürme**
  Sprühtürme (oder Sprühwäscher) bestehen aus Sprühdüsen am Turmkopf, durch die die Waschflüssigkeit eintritt und einem Gaseintritt nahe am Boden. Üblicherweise strömt das Abgas im Gegenstrom zur Flüssigkeit im Turm nach oben. Eine typische Anwendung für Sprühtürme besteht in der Entfernung von sauren Gasen und Geruchsstoffen. Ein Beispiel zeigt Abbildung 3.59 [cww/tm/79].

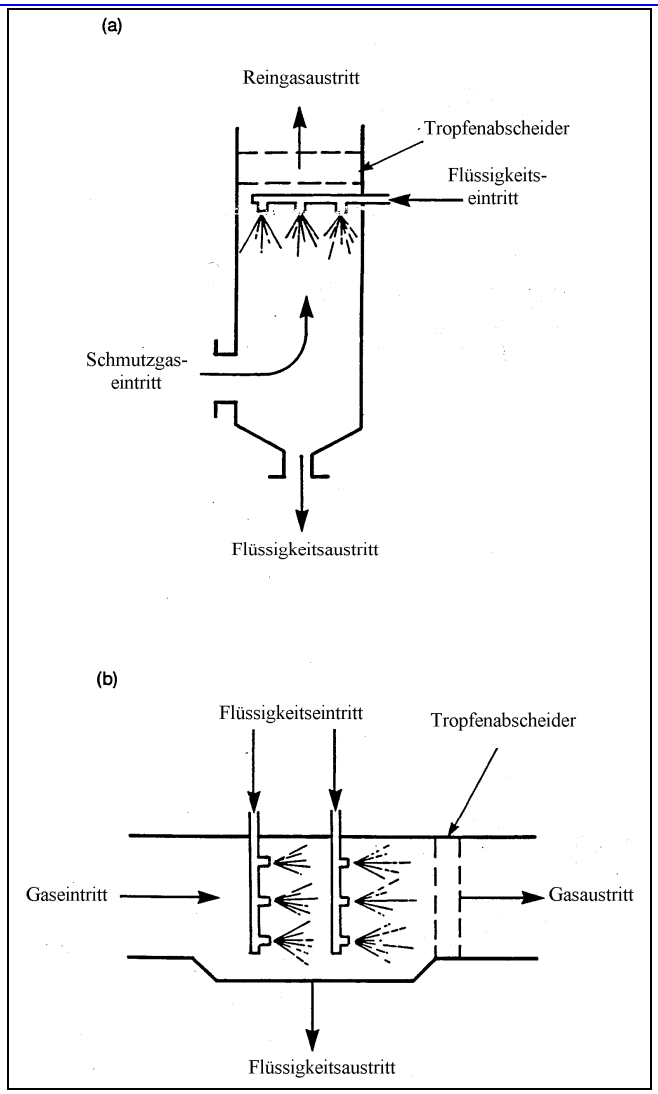

Abbildung 3.59: Sprühturm, (a) Gegenstrom, (b) Gleichstrom

Verstopfung der Sprühdüsen können Probleme verursachen.

Sprühstürme sind die traditionellen Nasswäscherkonfigurationen, um das Abgas mit dem Sorptionsmittel in Kontakt zu bringen. Sie haben jedoch das geringste Potenzial für einen Masseübergang und sind somit im Allgemeinen auf die Entfernung von gut löslichen Gasen begrenzt.

Typische Schadstoffkonzentrationen liegen im Bereich von 100 bis 10000 mg/Nm^3. Nasse Sprühturmwäscher sind für das Fouling nicht so anfällig wie Schüttgutwäscher. Es ist jedoch ein sehr großes Verhältnis Flüssigkeit/Gas (>3 l/m^3) notwendig, um kleine Teilchen mit zu erfassen.

Wenn absorbierte Gase zurückgewonnen werden sollen, ist ein zusätzlicher Desorptionsschritt erforderlich. Die übliche Methode der Desorption/Regeneration organischer Inhaltsstoffe ist die Destillation oder das Dampfstrippen, die die gasförmigen Inhaltsstoffe in die Gasphase zurückführen. Wird das Strippen zum Regenerieren durchgeführt, wird das gestrippte Gas anschließend kondensiert und gesammelt. Das Kondensat wird entweder direkt im Prozess wieder verwendet oder in seine Bestandteile, z. B. mittels Destillation, zerlegt. Das Strippen und die Destillation werden bei reduziertem Druck durchgeführt, um die Temperatur zu verringern und das Risiko der Zersetzung der organischen Verbindungen zu verringern [cww/tm/71].

Ein typisches Absorptions/Desorptions-System wird in Abbildung 3.60 gezeigt [cww/tm/71]. Die Vakuumdesorption, wie in Abbildung 3.60 dargestellt, ist eine spezielle Option. Diese ermöglicht, dass die Waschflüssigkeit (Lösemittel) leichter siedet, aber erschwert deren Kondensation.

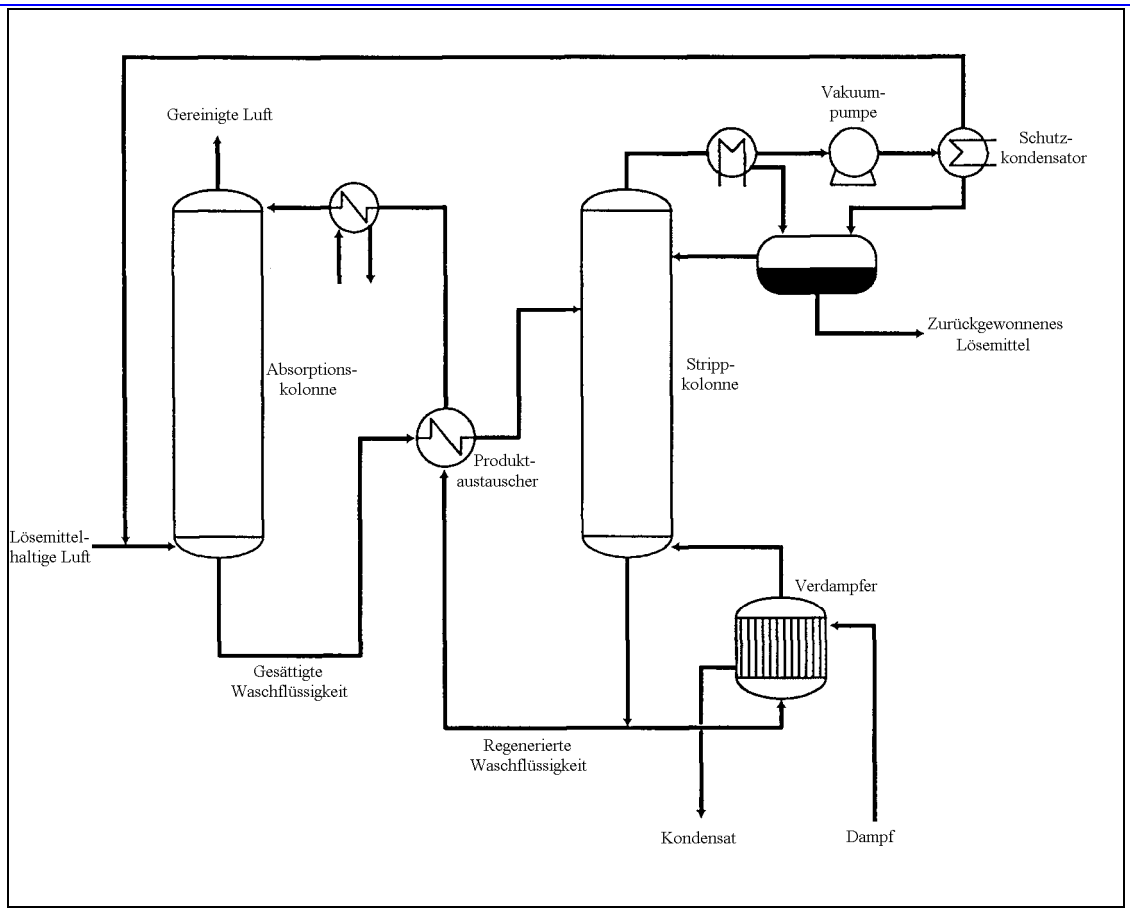

Abbildung 3.60: Typisches Absorptions/Desorptions-System

Anwendung

Die Absorption wird als Rohmaterial- und/oder Produktrückgewinnungstechnik vielfach eingesetzt, um die Abtrennung und Reinigung von Gasströmen, die hochkonzentrierte VOC enthalten, insbesondere wasserlösliche Verbindungen wie Alkohole, Aceton oder Formaldehyd, durchzuführen. Die Verwendung der Absorption als eigenständiger Behandlungsschritt für organische Dämpfe ist von der Verfügbarkeit eines geeigneten Lösemittels abhängig, das eine hohe Löslichkeit für das Gas, einen niedrigen Dampfdruck und eine geringe Viskosität aufweist.

Als Nachbehandlungstechnik für Emissionen wird die Gaswäsche gewöhnlich eher für anorganische Verbindungen als für VOC verwendet. Die Eignung als Behandlungsmethode ist abhängig von:

- Rückgewinnungswert des Schadstoffes,
- Kosten für die Abwassereinleitung,
- Erforderliche Rückgewinnungsleistung,
- Schadstoffkonzentration im Rohabgas,
- Verfügbarkeit geeigneter Lösemittel/chemische Reagenzien.

Die Absorption wird verbessert durch:

- größere Kontaktoberfläche,
- größere Flüssigkeit/Gas-Verhältnisse,
- höhere Konzentrationen im Gasstrom,
- niedrigere Temperatur.

Für gefährliche VOC werden üblicherweise geringe Gasaustrittskonzentrationen gefordert, welche übermäßig hohe Absorptionstürme, lange Kontaktzeiten und ein hohes Flüssigkeit/Gas-Verhältnis erfordern würden, was unwirtschaftlich wäre. Daher sind Nasswäscher für die Behandlung von gefährlichen VOC wirtschaftlicher, wenn sie in Kombination mit anderen Behandlungsanlagen benutzt werden, wie Aktivkohle-Adsorber (siehe Abschnitt 3.5.1.3) oder Abgasverbrennungseinrichtungen (siehe Abschnitt 3.5.2.4 und 3.5.2.5).

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Gasstrom [Nm^3/h]	50–500000 [1]
	1800–170000 (fasergepackter Wäscher) [2]
	900–130000 (Festbettwäscher) [3]
	1700–130000 (Prallplattenwäscher) [4]
	2500–170000 (Sprühturm) [5]
Temperatur [°C]	5–80 (allgemein) [1]
	<60 (fasergepackter Wäscher) [2]
	4–38 (Festbettwäscher, für gasförmige Schadstoffbehandlung) [3]
	4–38 (Prallplattenwäscher, für gasförmige Schadstoffbehandlung) [4]
	4–38 (Sprühturm, für gasförmige Schadstoffbehandlung) [5]
	10–40 (alkalischer Oxidationswäscher) [1]
	30 (Biogasentschwefelung) [1]
	(Hoche Gastemperatur kann zu signifikanten Verdampfungsverlusten der Waschflüssigkeit führen)
Druck	atmosphärisch
Schadstoffbeladung [g/Nm^3]	0,2–11 (fasergepackter Wäscher) [2]
Staub/Teilchen [mg/Nm^3]	450 (Festbettwäscher) [3]

[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/110]
[3] [cww/tm/113]
[4] [cww/tm/111]
[5] [cww/tm/114]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Allgemein • Großer Anwendungsbereich. • Sehr hohe Leistung. • Kompakte Installation dank günstigem Verhältnis zwischen Kapazität und Anlagengröße. • Einfache und robuste Technologie. • Einfache Wartung. • Nur wenige verschleißempfindliche Komponenten. • Geringes Risiko beim Umgang mit brennbaren und explosiven Gasen/Stäuben. • Kühlung heißer Gasströme möglich. • Verwendbar bei Tropfen. • Korrosive Gase und Stäube können neutralisiert werden.	Allgemein • Wasser oder verdünnte Chemikalien sind als Ersatz für das gereinigte Wasser und die Verdunstungsverluste notwendig. • Abwasser vom Ersatz der Waschflüssigkeit muss behandelt werden. • Aufbereitungsreagenzien (z. B. Säuren, Laugen, Oxidationsmittel, Weichmacher) sind für viele Anwendungen erforderlich. • Als Schlamm abgeschiedener Staub, muss entweder für Wiederverwendung oder Entsorgungsmaßnahmen behandelt werden. • Für Dachabdichtung werden geeignete Strukturen benötigt. • Für Außenabdichtungen wird Frostschutz benötigt (entsprechend der Klimabedingung). • Füllstoffmaterial ist wegen Staub oder Fett gegen Verstopfen empfindlich. • Korrosionsgefahr. • Abgeschiedene Teilchen können kontaminiert und nicht recycelfähig sein. • Abgas kann Wiedererhitzen erfordern, um sichtbare (Dampf) Fahnen zu vermeiden.
Festbettwäscher • Geringer bis mittlerer Druckabfall. • Mit Kunststoff und glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) ausgerüstete Wäscher können in hoch korrosiver Atmosphäre betrieben werden. • Hohe Masseübergangsleistung. • Fähigkeit Gase als auch Staub zu sammeln. • Geringe Kapitalkosten. • Wenig Platz erforderlich.	Festbettwäscher • Tendenz zur Verstopfung des Bettes. • Relativ hohe Wartungskosten im Vergleich zu anderen Waschtechniken. • Falls GFK-Ausrüstung verwendet wird, ist diese temperaturempfindlich. • Relativ hohe Wartungskosten.

Vorteile	Nachteile
Prallplattenwäscher • Flexible Betriebsbedingungen (Änderung der Strömungsgeschwindigkeit). • Hohe Vielseitigkeit im Fall einer geringen Gasgeschwindigkeit, da sie auch mit geringem Flüssigkeitsstrom betrieben werden können. • Ermöglicht Gasabsorption und Staubabtrennung in einer Einzelanlage. • Verbessert Gas/Schlempe Kontakt zur SO_2 Entfernung. • Leichte Wartung und Betrieb.	Prallplattenwäscher • Verschmutzungen an Öffnungen und/oder auf Platten. • Höhere Kosten als andere Nasswäscher.
Sprühtürme • Geringer Druckabfall. • GFK- Konstruktionen können in hoch korrosiven Atmosphären betrieben werden. • Geringer Energieverbrauch. • Geringe Kapitalkosten. • Relativ unanfällig auf Verstopfungen. • Relativ geringer Platzbedarf. • Geeignet für Gase und Staub/Teilchen.	Sprühtürme • Geringe Masseübergangsleistung. • Geringe Leistung bei Entfernung von Feinstaub. • Wenn GFK-Konstruktion verwendet wird, ist diese temperaturempfindlich. • Hohe Betriebskosten.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [a] [%]	Emissionswert [mg/Nm³] [b]	Bemerkungen
Alkohole	Bis zu 95 [1]	hinab bis 100 [1]	Wasser
Fluorwasserstoff	>99 [1]	<50 [1]	Wasser
		<1 [1]	Lauge
Chlorwasserstoff	>99 [1]	<50 [1]	Wasser
		<10 [1]	Lauge
Chromsäure		<0.1–1 [1]	Wasser
Ammoniak	>99,9 [c]	<1 [1]	Säure
Amine	>99 [1]	<1 [1]	Säure
Schwefeldioxid	80–99 [d] [2]	<40 [1]	Lauge
Phenole	>90		Lauge
Schwefelwasserstoff	90–95 [1]		Lauge
	80->99 [h] [5]		
Anorganische Verbindungen	95–99 [d,f,h] [2,3,5]		
VOC	50–95 [d,e] [2]		
	70->99 [f,g] [3,4]		

[a] hohe Ausgangskonzentration
[b] geringe Ausgangskonzentration
[c] Ausgangskonzentration 25 g/Nm³ Ammoniak, Endkonzentration <10 mg/Nm³
[d] Sprühturm, verschiedene Reagenzien
[e] erreichbar > 99 %
[f] Festbettwäscher
[g] fasergepackter Wäscher
[h] Prallplattenwäscher
[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/114]
[3] [cww/tm/113]
[4] [cww/tm/110]
[5] [cww/tm/111]

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe für Absorptionssysteme sind [cww/tm/71]:

Verbrauchsstoffe	Menge	Bemerkungen
Waschwasser		
Chemikalien (Säure, Lauge, Oxidationsmittel)		
Desorptionseinrichtungen: Kühlwasser für Kondensator, Dampf für Dampfstripper	30-40 kg/1000 Nm^3 Abgas (Dampf 120 °C) [1]	
Energie [kWh/1000 Nm^3]	0,2-1 [2]	abhängig von Anwendung, Desorption nicht eingeschlossen
Druckabfall [kPa]	0,4-0,8 [1]	abhängig von Anwendung

[1] [cww/tm/71]
[2] [cww/tm/70]

Abhängig von dem Verbrauch (z. B. Gehalt an unlöslichen Feststoffen) und den Verdunstungsverlusten, ist normalerweise eine zusätzliche Ergänzung der Kreislaufflüssigkeit erforderlich.

Der Wäscher erzeugt Abwasser, dass behandelt werden muss, wenn es nicht in anderer Weise genutzt wird. Eine adäquate Behandlung ist die Desorption des Abgasinhaltes, die in einigen Fällen betrieben wird, wenn die Rückgewinnung des Gases das Ziel der Wäsche ist. Die Desorption kann Luftemissionen verursachen. Die benötigte Energie sollte im Auge behalten werden.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Reinigungsleistung des Wäschersystems wird mittels Überwachung des Schadstoffgehaltes im Gas vor und nach der Behandlung bestimmt. Schwefeldioxid wird gewöhnlich mittels Infrarotmessungen bestimmt; nasschemische Methoden werden für Halogenwasserstoffe verwendet. VOC wird als Gesamtkohlenstoff -ohne Staub- mittels Flammenionisationsdetektor bestimmt. Eine qualitative Analyse kann durchgeführt werden, indem eine Stichprobe des Gases an ausgewählten Probenahmepunkten gezogen wird und die nachfolgend mittels GC/MS analysiert wird. Die Reinigungsleistungen für Geruchsemissionen wird bestimmt, indem Stichproben an geeigneten Probenahmepunkten gezogen werden und diese mittels Olfaktometrie analysiert werden.

Eine weitere Routinemessung ist erforderlich für:

- Druckabfall über dem Wäscher, um anormale Betriebszustände festzustellen, die eine Wartung erforderlich machen könnten,
- Fließgeschwindigkeit des Ergänzungswassers,
- Fließgeschwindigkeit des Recyclingwassers,
- Fließgeschwindigkeit der Reagenzien,
- in einigen Fällen pH, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und Redoxpotenzial.

Nasswäscher benötigen eine regelmäßige Inspektion, um den Verschleiß der Anlage zu ermitteln, wie Korrosion oder Blockierungen. Es sollte ein einfacher Zugang zum Wäscher möglich sein. Es ist wichtig, dass Betriebsausfälle schnell ermittelt werden und entsprechende Alarmeinrichtungen sollten an der Austrittsöffnung der Absorptionsanlage angebracht sein, die den Ausfall einer Einrichtung signalisiert.

Gewöhnlich wird ein speicherprogrammierbareres Steuerungssystem (PLC) oder ein Digital-Computersystem (DCS) für die automatische Prozessführung verwendet (z. B. Betrieb bei festgelegtem pH oder Redoxpotenzialen, optimiert für eine hohe Gasabsorption). Es ist ein Programm verfügbar, das optimale Betriebsparameter für eine vorgegebene Abgaszusammensetzung berechnen kann (d. h. Kreislauf- und Dampfbedarf). Das ist besonders vorteilhaft, wenn signifikante Änderungen des Gasstromes und/oder der Lösemittelkonzentration vermutet werden können.

Ein Eingriff durch das Betriebspersonal ist selten, wenn eine automatische Abschaltung vorhanden ist und die Warnsignale auf das Überwachungssystem übertragen werden, z. B. für geringen Flüssigkeitsstrom oder Vakuumverlust.

Anforderungen an die Wartung sind wahrscheinlich gering. Sie sind hauptsächlich auf Routineprüfungen des Desorptionssystems begrenzt, da die Qualität der Desorption ein Schlüsselfaktor für die Absorptionsleistung und die Ausrüstung mit bewegten Teilen ist. [cww/tm/71]

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten				
	Faserpackung	Wander-Bett	Festbett	Prallplatte	Sprühtürme
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 600-1800 [1]		USD 6200-33500 [2]	USD 1300-7000 [3]	USD 500-2200 [4]
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 1000-21100 [1]		USD 9300-42300 [2]	USD 1500-42000 [3]	USD 800-28100 [4]
Kosteneffizienz [pro Tonne pro Jahr Schadstoff]	USD 40-710 [1]		USD 0,24-1,09 [2]	USD 51-1300 [3]	USD 28-940 [4]

[1] [cww/tm/110]
[2] [cww/tm/113]
[3] [cww/tm/111]
[4] [cww/tm/114]

Kostenfaktoren [cww/tm/71]:

Faktoren	Einfluss / Ergebnisse
Emissionsmenge	Gesamtgröße des Systems, Betriebsmittelbedarf
Erforderliche Rückgewinnungsleistung	Höhe der Waschkolonne
Absorptionsleistung des Lösemittels	Rezirkulationsmenge der Waschflüssigkeit und damit Anforderung an die Pumpen
Lösemitteltyp	Wahl der Waschflüssigkeit
Löslichkeit des Lösemittel	Komplexität der nachgeschalteten Trennverfahren (direkt proportional zur Löslichkeit), Energiebedarf der Trennverfahren (direkt proportional)
Lösemittelmischungen	Komplexität der nachgeschalteten Trennverfahren (direkt proportional), Energiebedarf der Trennverfahren (direkt proportional)
Lösemittelbeladung	Geschwindigkeit der Desorption und entsprechender Betriebsmittelbedarf wie Dampf
Erschöpfung der Waschflüssigkeit	Hoher Anfall verbrauchter Flüssigkeit und damit hohe Behandlungs- und/oder Entsorgungskosten
Erleichtern der Lösemitteldesorption	Desorptionstemperatur

Umrüstbarkeit [cww/tm/71]:

Faserpackung	Wanderbett	Festbett	Platte	Sprühtürme
Sofern ausreichend Platz zur Verfügung steht, können Absorptionssysteme relativ leicht in bestehende Anlagen nachgerüstet werden. Nachrüstungen mit verbesserten Füllstoffen und/oder Flüssigkeiten können bei bestehenden Absorptionssystemen auch vorgenommen werden, um den Betrieb der Rückgewinnungseinheit zu verbessern.				

3.5.2 Behandlungsoperationen und Verfahren für VOC und anorganische Verbindungen

3.5.2.1 Biofiltration

Beschreibung

Der Abgasstrom wird durch ein Bett mit organischem Material geleitet, wie Torf, Heide, Kompost oder einige inerte Materialien wie Lehm, Aktivkohle oder Polyurethan. Dort wird das Gas durch natürlich auftretende Mikroorganismen in Kohlendioxid, Wasser und Biomasse biologisch oxidiert wird.

Ein Biofilter wird in Abbildung 3.61 gezeigt [cww/tm/79].

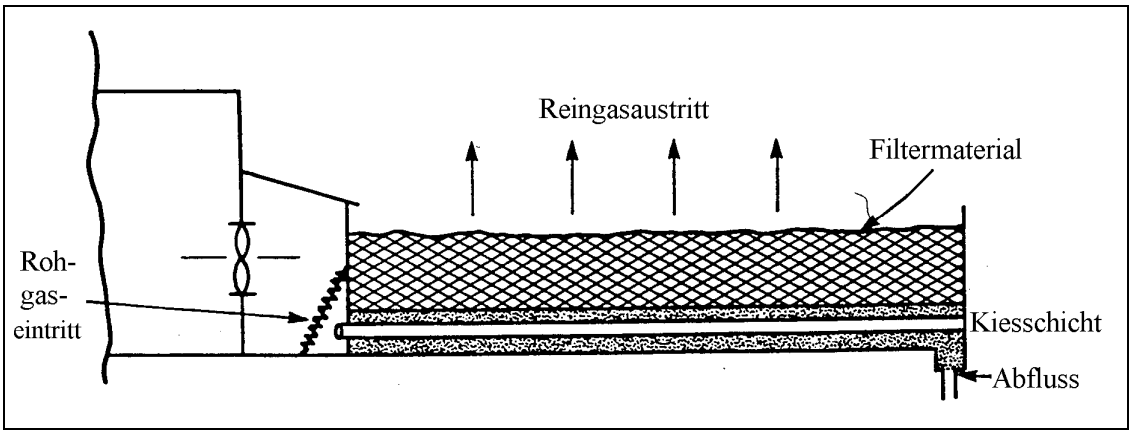

Abbildung 3.61: Biofilter Aufbau

Biofilter können unterteilt werden in:

- offene Biofilter,
- geschlossene Biofilter.

Ein offener Biofilter besteht aus einer Schicht von porösem Biofiltermaterial, darunter ein Netz von Rohren, durch die die belastete Luft in den Filter geblasen wird. Diese Filter erfordern eine lange Verweildauer und sind tendenziell groß. Sie können für kleine Gasströme verwendet werden. Um eine große Oberfläche zu erhalten gibt es die Vielschicht- Biofilter, bei denen mehrere Schichten übereinander liegen. In Gebieten mit kaltem Klima (Frost), ist die Anwendbarkeit der offenen Biofilter begrenzt.

Ein geschlossener Biofilter besteht aus einer Materialschicht, die eine geeignete mikrobiologische Population unterstützt. Darunter ist ein Verteilungssystem angeordnet, das den verunreinigten Abgasstrom gleichförmig zum Filter leitet. Der Gasstrom wird mittels Elektrogebläse in den Filter transportiert. Das Gas strömt vom Kopf zum Boden oder umgekehrt. Das Baumaterial des Gebläses, des Belüftungssystems und des Biofilters sollte den Einfluss des korrosiven Abgases, der Überschusskondensate und Staub/ Schlamm minimieren.

Die am häufigsten betriebenen Biofilter sind offene Bettfilter, die preiswerter sind als geschlossene Biofilter, aber geringere Leistung haben. Daher könnten geschlossene Filtersysteme mit überwachter Zufuhr und Abfuhr des Abgases bevorzugt werden. Es ist anzunehmen, dass in vielen Fällen die offenen Filtersysteme keine ausreichende Leistung zur Entfernung der Emissionen besitzen und oft die technologischen Merkmale fehlen, um eine umfassende VOC-Verminderung zu erreichen. Geschlossene Hochleistungs-Biofilter können so verbessert werden, dass sie einen großen Bereich von Xenobiotika-Verbindungen vermindern können.

Die Mikroorganismen sind im Festbett fixiert. Die Höhe des Filtermaterials liegt zwischen 0,5 and 1,5 m, mit maximal zwei bis drei Schichten. Die spezifische Fracht des Filterbettes liegt zwischen 100 and 500 Nm^3/h pro m^2 Filteroberfläche. Die gleichmäßige Feuchte ist allgemein sehr kritisch (relative Gasfeuchte von ca. 95 % und mehr ist erforderlich). Sie wird mittels vorgeschaltetem Befeuchter oder Gaswäscher und gemeinsam mit der

Befeuchtung des Filtermaterials eingestellt. Die relative Feuchtigkeit des Filtermaterials sollte unterhalb von 60 % liegen, um ein Verstopfen zu vermeiden. Es ist wichtig, dass das Befeuchtungssystem in Regionen mit Temperaturen deutlich unter 0°C mit einem Schutz gegen Vereisen ausgestattet ist.

Die Anwendung für warme Gasströme (> 35 ºC) erfordert eine Kühlung, entweder durch Vermischen mit Luft oder durch Verwendung eines Gaswäschers oder Wärmetauschers. Nasswäsche kann als Vorbehandlung mit dem Ziel verwendet werden, den übermäßigen Staubgehalt, Schadstofffracht und die Menge der Schadstoffe zu verringern, die für die Biofiltration ungeeignet ist.

Die Verweilzeit für eine effektive Behandlung, z. B. beim Geruch, hängt von der Schadstoffkonzentration ab. Als grobe Richtlinie gilt eine minimale Verweilzeit von 30 bis 45 Sekunden.

Die Materialqualität und die Betriebsweise der Biofilteranlage erfordern einen Schutz gegen Korrosion. Die Beseitigung von kondensiertem Wasser aus Rohrleitungen muss sichergestellt werden [cww/tm/46].

Ein typisches Biofilter-Verfahren wird in Abbildung 3.62 gezeigt [cww/tm/64]. Als Vorbehandlungsschritt wird ein Nasswäscher verwendet.

Anwendung

Die Biofiltration wird in der chemischen und petrochemischen Industrie als auch in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen benutzt. Sie ist eine Behandlungstechnik, die biologisch leicht abbaubare Verbindungen wie Amine, Kohlenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff, Toluol, Styrol und Geruchstoffe entfernt. Die Biofiltration ist für geringe Schadstoffkonzentrationen gut geeignet, die in Wasser leicht löslich sind. Sie ist jedoch normalerweise nicht für im Abwasser enthaltene unterschiedliche oder sich verändernde Schadstoffe geeignet. Auch Methan wird nicht abgebaut, da die Verweilzeit bei normalen Filtergrößen zu groß sein würde.

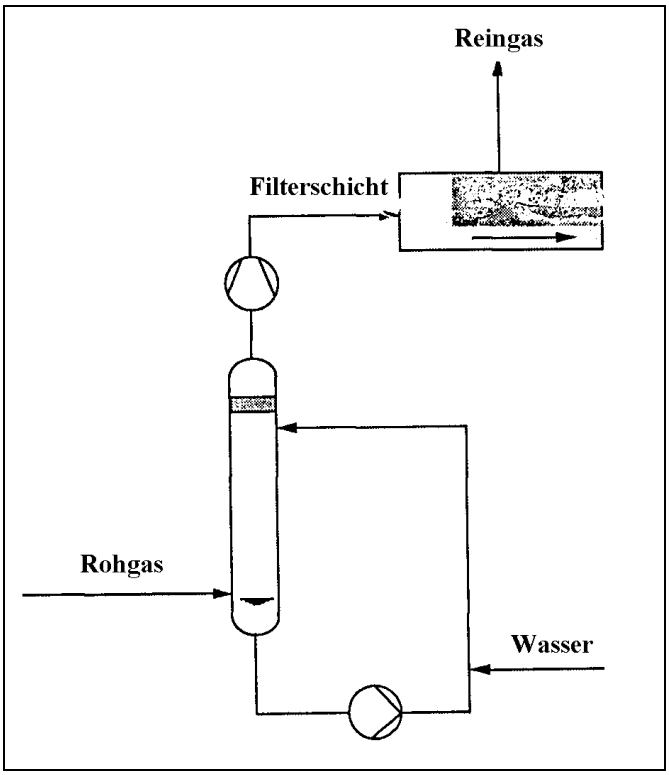

Abbildung 3.62: Typisches Biofiltrationsverfahren

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Gasstrom [Nm^3/h]	100–400 pro m^2 Filteroberfläche [1], bis zu 200000
Temperatur [°C]	15–40 [2] 55, mit thermophilen Bakterien
Druck	atmosphärisch [2]
Sauerstoffkonzentration	nahe Umgebungsbedingung [1]
Relative Feuchtigkeit [%]	> 95, nahezu Wasser gesättigt [1]
Gehalt an Staub, Schmierstoff und Fett	verursacht Verstopfung, daher Vorbehandlung notwendig [3]
Kohlenwasserstoffkonzentration [mg/Nm^3]	200–2000 [2,4]
Ammoniak	• kann die Leistung des Abbaus von Kohlenwasserstoffen verringern • kann zu N_2O abgebaut werden
Geruchsstoff-Konzentration [ou/Nm^3]	20000–200000 [2]
Toluolkonzentration [mg/Nm^3]	20–500 [2]
Styrolkonzentration [mg/Nm^3]	50–500 [2]
Verbindungen, die N, S oder Cl enthalten	kann den Biofilter ohne Pufferkapazität ansäuern und deaktivieren, die zu einem Ansteigen der Austauschfrequenz führt
Klimabedingungen	Frost, Regen und hohe Umgebungstemperatur haben Einfluss auf das Filtermaterial und verringern die Leistung

[1] [cww/tm/64]
[2] [cww/tm/70]
[3] [cww/tm/132]
[4] Kommentar

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Einfache Konstruktion. • In Kombination mit Adsorption und Absorption auch geeignet für schlecht lösbare Komponenten. • Hohe Leistung für biologisch abbaubare Verbindungen, z. B. Geruchsstoffe	• Austrocknen von Torf- und Kompostfilterbetten, die schwierig rückbefeuchtbar sind. • Relativ voluminöse Bauart. • Vergiften und Ansäuern der Biomasse muss vermieden werden. • Schwankungen des Gasstroms haben einen großen Einfluss auf die Leistung. • Packung ist für Verstopfungen durch Staub empfindlich.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]	Bemerkungen
Kohlenwasserstoffe	75–95 [1]	>5 [1]	
Toluol	80–95 [1]	>5 [1]	
Styrol	80–90 [1]	>10 [1]	
Geruch	75–95 [1]	>5000 ou/Nm^3 [1]	Geruch des Biofilters 200-500 ou/Nm^3

[1] [cww/tm/70]

Die Leistung der Biofiltration hängt stark von der Zusammensetzung des Abgasstromes ab.

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Filtermaterial [a]		
Chemikalien (Nährstoffe, alkalische und saure Verbindungen zur pH-Korrektur)		
Wasser	5 l/1000 Nm^3 [1]	
Energie [kWh/1000 Nm^3]	<1 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,5–2 [1]	

[a] Standzeit des Filtermaterials ist abhängig von der Ansäuerung, Vergiftung, Erschöpfung und beträgt üblicher Weise nicht mehr als 1 Jahr
[1] [cww/tm/70]

Bei offenen Biofiltern muss das Filtermaterial regelmäßig aufgearbeitet und von Zeit zu Zeit entsorgt werden. Es kann eine Kanalbildung des Abgases durch das Filterbett auftreten, wodurch die Leistung des Biofilters abfällt. Da nicht alles VOC, das durch den Biofilter geleitet wird, biologisch abbaubar ist, kann belastetes Filtermaterial entstehen, das gefährliche Verunreinigung enthält und als Abfall entsorgt werden muss (Verbrennung). Das durch das Filtermaterial gesickerte Wasser kann organische Rückstände enthalten und muss beseitigt werden. Geschlossene Biofilter führen normalerweise das Sickerwasser zurück.

Überwachung

Das Feuchtigkeitsgleichgewicht muss sorgfältig untersucht werden, da dies für die richtige Betriebsweise des Biofilters ein kritischer Punkt ist.

Die Leistung kann mit der Bewertung des einströmenden und ausströmenden Gases bestimmt werden, wobei die geeignete Methode von den zu behandelnden Schadstoffen abhängt. Eine regelmäßige pH-Untersuchung des Sickerwassers vom Filterbett ist erforderlich.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten	EUR 5000–20000 [1][pro 1000 Nm^3/h]	
	ATS 4000–180000 [2][pro m^3 Filter]	
Betriebskosten [a]	ATS 10000–20000 [2]	
Labor		1 h pro Woche pro Filter + 2 Tage pro Jahr [1]
Betriebsmittel		
Verbrauchsstoffe	EUR 200 pro m^3 Filtermaterial [1]	
Wartung [b]	ATS 5000–300000 [2] <ATS 1000 [c] [2]	

[a] pro Jahr pro 1000 Nm^3/h Kapazität
[b] pro Jahr
[c] pro Jahr pro 1000 Nm^3/h Kapazität
[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/46]

Die Betriebs- und Wartungskosten sind gering, da weder Brennstoff noch Chemikalien benötigt werden.

Kostenrelevante Parameter sind:

- Abgasstrom
- Schadstoffkonzentration im Gasstrom
- Art der Komponenten im Gasstrom
- erforderliche Leistung
- Art des Filtermaterials.

3.5.2.2 Biowäsche

Beschreibung

Die Biowäsche ist eine Kombination aus Nassgaswäsche (Absorption) (siehe Abschnitt 3.5.1.4) und biologischem Abbau, wobei das Waschwasser eine Mikrobenpopulation enthält, die geeignet ist, giftige Gasbestandteile zu oxidieren. Die Mikroben sind im Wasser suspendiert. Die Voraussetzungen für die Verwendung des Biowäschers sind daher:

- es sollte möglich sein, die Abgasbestandteile herauszuwaschen;
- die herausgewaschenen Bestandteile müssen unter aeroben Bedingungen biologisch abbaubar sein.

Ein Biowäscher wird in Abbildung 3.63 gezeigt [cww/tm/132].

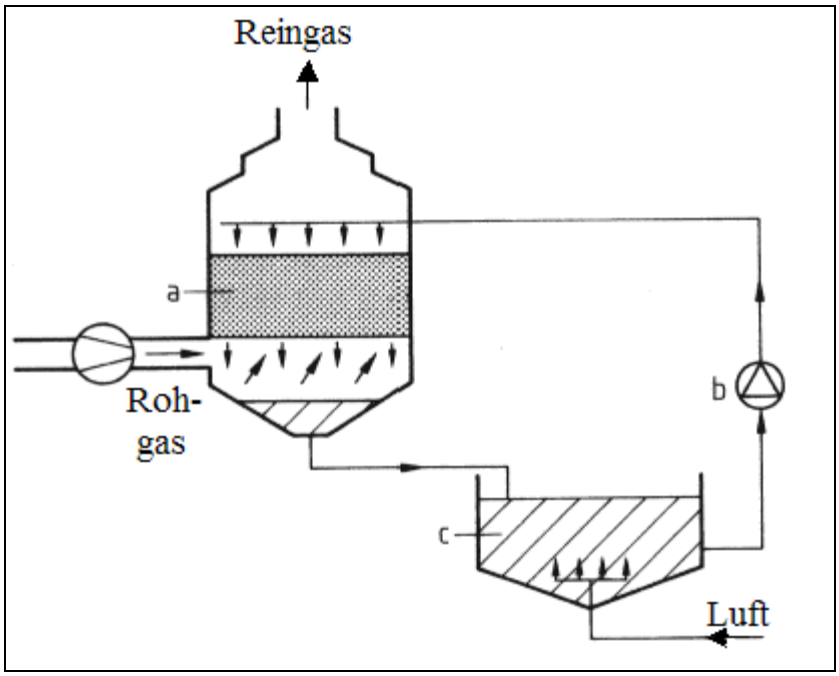

Abbildung 3.63: Typischer Biowäscher
(a) Absorber, (b) Belebtschlamm-Kreislauf, (c) Belebungsbecken

Die Bauart des Bioreaktors basiert auf dem Belebtschlamm- oder Trägerschlamm- System (Details siehe Abschnitt 3.3.4.3.1). Die Wasser-Schlamm-Mischung wird in den Reaktor zurückgeführt. Die absorbierten Schadstoffe werden im belüfteten Schlammtank abgebaut. Der Waschturm sollte so gestaltet sein, dass die Kontaktzeit ca. eine Sekunde beträgt, abhängig von den Verunreinigungen.

Biowäscher werden häufig mit Belebtschlamm geimpft, z. B. aus der biologischen Abwasserbehandlungsanlage. Abhängig von der Abgaszusammensetzung wird sich die erwartete Leistung des Biowäschers erst nach einigen Wochen der Adaption einstellen. Die Impfung mit Kulturen aus Fermentatoren wird teilweise für Verunreinigungen angewandt, die schwefelhaltige Verunreinigungen (Merkaptane, Schwefelwasserstoff, Dimethylsulfid, usw.) oder Chlor (chlorierte Methane oder Ethane) enthalten [cww/tm/70].

Ein typisches Biowaschverfahren wird in Abbildung 3.64 gezeigt [cww/tm/64].

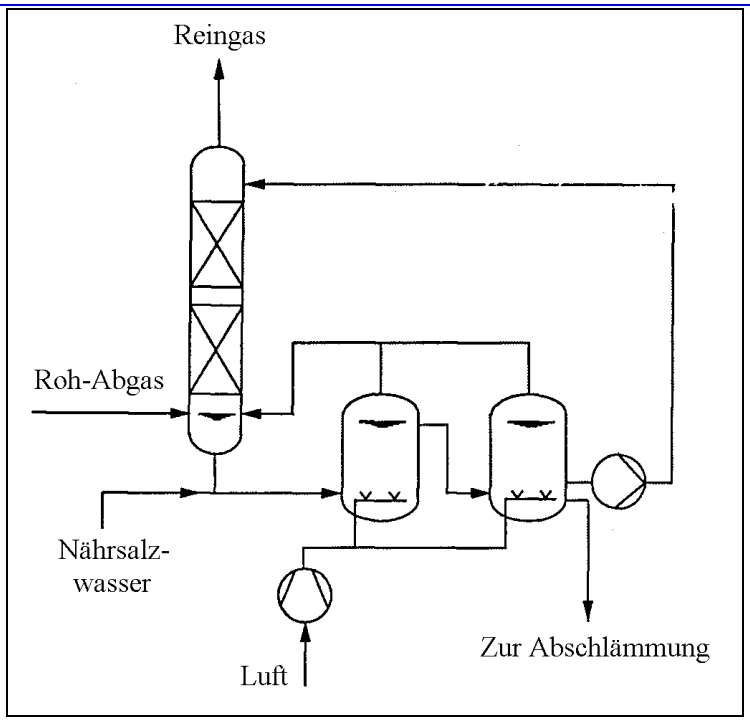

Abbildung 3.64: Typisches Biowasch-Verfahren

Die Verdunstung und die gleichzeitige Mineralisation sowie die Zugabe von Nährstoffen und/oder Neutralisationsmitteln verursacht ein Ansteigen des Salzgehaltes in dem Absorptionsmittel. Dies kann zu einer Inhibierung des biologischen Prozesses führen. Es wurde festgestellt, dass stabile Bioabbauraten erhalten werden können, wenn Salzkonzentrationen mit einer zugehörigen Leitfähigkeit von bis zu 5000 µS/cm [cww/tm/53] vorliegen.

Maßnahmen zur Vermeidung übermäßiger Salzbildung sind z. B.:

- entsprechende Entfernung des Absorptionsmaterials und gleichzeitige Zugabe von Frischwasser,
- Betrieb mit enthärtetem Wasser,
- Dampfsättigung des Rohabgases.

Verbindungen, die Schwefel, Chlor und/oder Stickstoff enthalten, führen zu einer Ansäuerung (Bildung von Schwefel-, Salz- oder Salpetersäure), die mittels pH-Überwachung korrigiert wird.

Eine Standzeit des Absorptionsmittels von 20–40 (maximal) Tagen hat sich als geeignet erwiesen.

Anwendung

Die Biowäsche wird sowohl in der chemischen und petrochemischen Industrie als auch in kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen verwendet. Sie ist eine Behandlungstechnik, die biologisch gut abbaubare Komponenten entfernt, wie Ammoniak, Amine, Kohlenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff, Toluol, Styrol und Geruchsstoffe. Die Biowäsche ist für geringe Schadstoffkonzentrationen gut geeignet, die in Wasser leicht löslich sind.

Typische und bewährte Anwendungen der Biowäscher sind in Tabelle 3.14 aufgezeigt [cww/tm/53].

	Geruchs-besei-tigung	Aliphatische KWS	Aromatische KWS	Sauerstoff-haltige Verbindungen	Schwefel-haltige Verbindungen	Stickstoff-haltige Verbindungen	Halogenierte KWS	H_2S	NH_3	Ätherische Öle
Belebtschlammbecken von biologischen Kläranlagen	X	X	X	X	X	X		X	X	
Enzym-Herstellung	X			X						
Duftstoffherstellung	X		X	X						X
Gummiindustrie	X				X			X		
Konditionierung von Lackabfällen	X	X	X	X		X				
Methionin-Herstellung	X				X					
Polymerisations-Verfahren	X			X						
Sonderabfall-deponiegas	X	X	X	X		X		X	X	

Tabelle 3.14: Typische Biowäscher-Anwendungen

Die Anwendbarkeit der Biowäsche für Komponentengruppen [cww/tm/53]:

Gut geeignet	Grundsätzlich geeignet	Nicht geeignet
Alkohole (Methanol, Ethanol, Butanol, Glykol, Diglykol, Butylglykol) Aldehyde und Ketone (Formaldehyd, Acetaldehyd, Aceton, Methyl-Isobutyl-Ketone) Carboxylsäuren und ihre Ester (Essigsäure, Propionsäure, Butylsäure, n-Butylacetat, Ethylacetat, Methylmethacrylat, Glycolsäureester) Phenole (Phenol, Kresol) Heterocyclische S-Verbindungen, Mercaptane, Amine, Heterocyclische N-Verbindungen, Chlorphenole, Schwefelwasserstoff	Naphthaline Thioether (Sulfide) Ammoniak	Aliphatische KWS (Methan, Pentan, Hexan, langkettige KWS, Acetylen usw., Cyclohexan) Aromatische KWS (Benzol, Toluol, Xylol, Styrol), außer Naphthalin Ether (Tetrahydrofuran, Diethylether, Dioxan) Kohlendisulfid Nitroverbindungen Halogenierte KWS (Dichlormethan Trichlorethen, Perchlorethen, 1,1,1-Trichlorethan, 1,2-Dichlorethan, VCM), außer Chlorphenole

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Gasstrom [Nm^3/h]	1000–3000 Nm^3/h pro m^2 Säulenoberfläche [1]
Temperatur [°C]	15–40 [2] ; 30–35 (Optimum) [3]
Druck	atmosphärisch [2]
Konzentration an Mikroorganismen	>15 g/l Trockenstoff [3]
VOC-Konzentration im Abgas	100–2000 mg/Nm^3 [2,3]
Konzentration von Ammoniak	50–200 mg/Nm^3 [2]
Geruchsstoffkonzentration [ou/Nm^3]	>20000 [2]

[1] [cww/tm/64]
[2] [cww/tm/70]
[3] [cww/tm/53]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Konzentrationen können behandelt werden wegen hohem mikrobiologischen Umsatz. • Ebenfalls geeignet für hohe Konzentrationen von Verbindungen, die Schwefel, Chlor und/oder Stickstoff enthalten.	• Biomassebildung, erfordert Abfallentsorgung und kann zur Blockade des Kreislaufwassers führen. • Gering lösliche Komponenten sind schwerer zu behandeln. • Schwankungen, z. B.. Konzentrationsänderungen im Gasstrom haben großen Einfluss auf die Leistung. • Sickerwasser muss behandelt werden.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]	Bemerkungen
VOC	80-90 [1]		
Ammoniak	80–95 [1]		
Geruch	70–80 [1]		
[1] [cww/tm/70]			

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Chemikalien (Nährstoffe, alkalische Verbindungen zur pH-Korrektur)		
Wasser		
Belebtschlamm		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	0,2–0,5 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,2–0,5 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Wegen der Bioaktivität im Biowäscher steigt die Salzkonzentration im Kreislaufwasser an und es ist von Zeit zu Zeit abzuleiten. Dieses Abwasser muss behandelt oder in einer anderen Weise beseitigt werden.

Der Überschußschlamm muss beseitigt werden, abhängig von den Verunreinigungen oder Abbauprodukten, z. B. mittels Verbrennung.

Gerüche können gelegentlich von Behältertanks herrühren, in denen Kreislaufwasser gespeichert wird, so dass das Fassen und Weiterleiten der Abluft zur Behandlungseinrichtung erforderlich ist.

Überwachung

Die Leistung wird mittels chemischer Analyse oder Bewertung des Geruches des Rohgases und behandelten Abgases bestimmt. Die pH-Überwachung des Prozesses ist erforderlich.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 5000–15000 [1]	
Betriebskosten Labor Betriebsmittel Verbrauchsstoffe		 ½ Tag pro Woche [1]
[1] [cww/tm/70]		

3.5.2.3 Rieselbettverfahren

Beschreibung

Das Rieselbettverfahren arbeitet unter ähnlichen Bedingungen wie die Biowäsche. Im Gegensatz zum Biowaschen sind die Mikroben auf Stützelementen fixiert. Das Verfahrensprinzip wird in Abbildung 3.65 gezeigt.

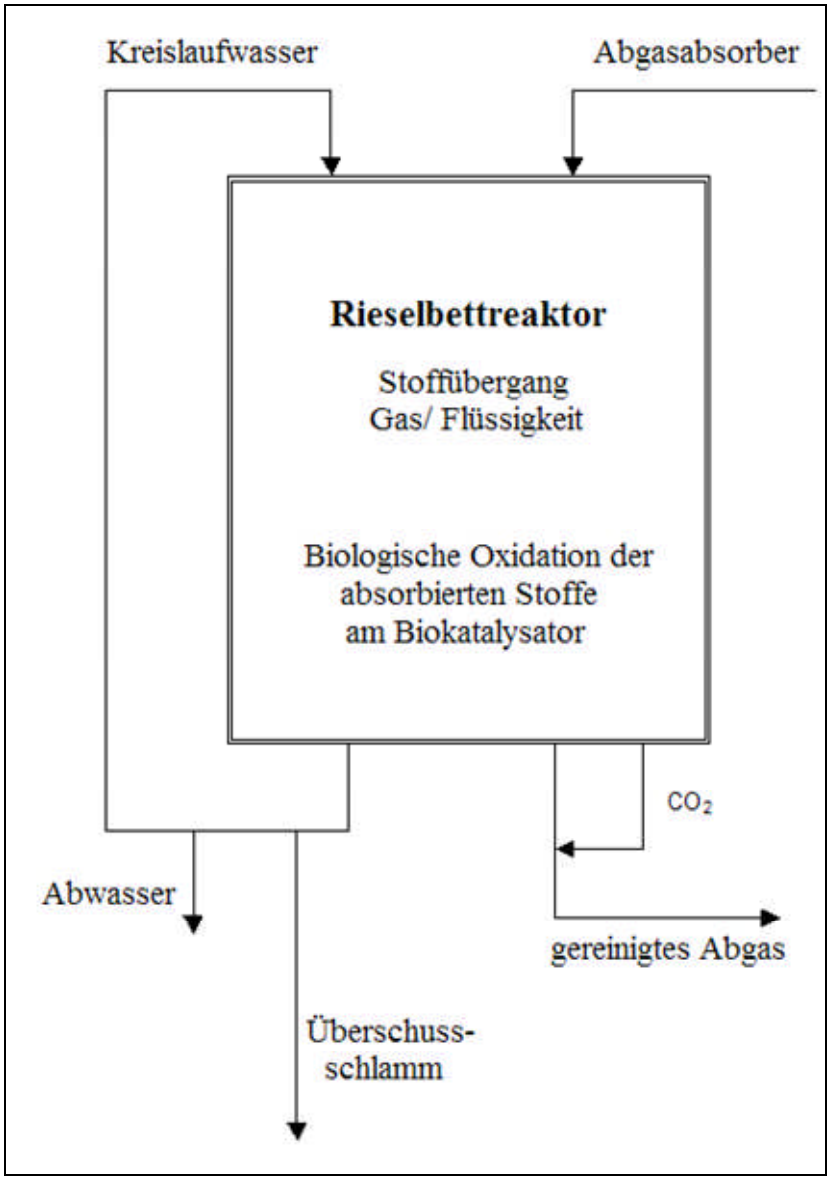

Abbildung 3.65: Fließdiagramm des Rieselbett-Verfahrens

In einem biologischen Rieselbettreaktor wird die wässrige Phase kontinuierlich durch ein Bett aus inertem Material im Kreislauf geführt. Diese Packung kann aus unregelmäßigem Schüttgut, wie Ringen, Sätteln usw. oder aus strukturierten Packungen bestehen. Bei der Auswahl des Trägermaterials ist in jedem Fall zu prüfen, ob der Reaktor auch bei zu erwartender Überschussschlammbildung langfristig nicht zuwächst. Die Oberflächeneigenschaften müssen so beschaffen sein, dass der Biofilm fest haftet. Die Schadstoffe im Abgas und der Sauerstoff werden von der Wasserphase absorbiert und zum Biofilm transportiert, wo die biologische Umsetzung stattfindet. Die Qualität des Masseübergangs von der Gas- in die Flüssigphase, sowie die Eliminationsleistung des Reaktors hängen wesentlich von der benetzten Oberfläche des Füllstoffes ab. Um optimale Eliminationsergebnisse zu erreichen, d. h. die benetzte Oberfläche zu maximieren, sollte die Flüssigkeit gleichmäßig über die Oberfläche des Biofilms verteilt werden [cww/tm/53].

Die Immobilisierung der Biomasse und die Bildung des Biofilms ist im Allgemeinen ein von Natur aus ablaufender Prozess, der nach Animpfung der Wasserphase beginnt. Mit der kontinuierlichen Kreislaufführung der flüssigen Phase erfolgt die Versorgung der Mikrobenpopulation mit den erforderlichen Nährstoffen. Gleichzei-

tig werden Überschussschlamm und die Reaktionsprodukte, welche auch Inhibitoren sein können (z. B. HCl beim Abbau von Dichlormethan), aus dem Reaktor ausgewaschen. In der flüssigen Phase müssen die wichtigen Milieubedingungen wie pH, Nährstoffe und Aufsalzung überwacht werden [cww/tm/53].

Wie auch beim Biowaschen, findet ein Ansteigen des Salzgehaltes im Absorptionsmittel statt. Maßnahmen zur Vermeidung übermäßiger Salzbildung sind z. B.:

- adäquate Entfernung des Absorptionsmittels und gleichzeitige Zugabe von Frischwasser,
- Betrieb mit enthärtetem Wasser,
- Dampfsättigung des Rohgases.

Eine Rieselbetteinheit wird in Bild 3.66 gezeigt.

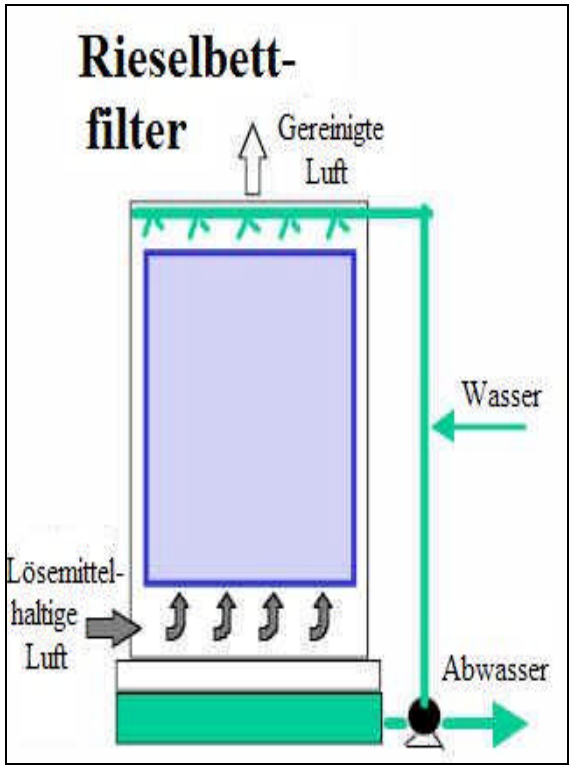

Abbildung 3.66: Typische Rieselbettfilter-Anlage

Anwendung

Die Anwendung des Rieselbettverfahrens ist vergleichbar mit dem Biowaschen. Geringe Unterschiede bestehen in den Schadstoffverbindungen, für die beide Techniken geeignet sind.

Die Anwendbarkeit des Rieselbettverfahrens für Verbindungsgruppen ist wie folgt [cww/tm/53] (vergleiche mit der entsprechenden Tabelle in Abschnitt 3.5.2.2):

Gut geeignet	Grundsätzlich geeignet	Nicht geeignet
Alkohole (Methanol, Ethanol, Butanol, Glykol, Diglykol, Butylglykol) Aldehyde und Ketone (Formaldehyd, Acetaldehyd, Aceton, Methyl-Isobutyl-Ketone) Carboxylsäuren und ihre Ester (Essigsäure, Propionsäure, Butylsäure, n-Butylacetat, Ethylacetat, Methylmethacrylat, Glycolsäureester) Phenole (Phenol, Kresol), Mercaptane, Amine, Ammoniak, Heterocyclische N-Verbindungen, Dichlormethan, 1,2-Dichlorethan, Chlorphenole, Schwefelwasserstoff	Styrol, Naphthalin Heterocyclische Schwefelverbindungen, Kohlendisulfid, Trichlorethen, VCM	Aliphatische Kohlenwasserstoffe (Methan, Pentan) Perchlorethen, 1,1,1-Trichlorethan

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen [cww/tm/70]:

	Grenzen / Beschränkungen
Temperatur [°C]	15–40 [1] 30–35 (Optimum) [2]
Druck	atmosphärisch [2]
Konzentration der Mikroorganismen	>15 g/l Trockenmaterial [3]
VOC-Konzentration im Abgas [mg/Nm^3]	400–2000 [1,2]
Ammoniak-Konzentration [mg/Nm^3]	100–400 [1]
Konzentration der Geruchsstoffe [GE/Nm^3]	>20000 [1]
Schwefelwasserstoff-Konzentration [mg/Nm^3]	50–200 [1]
Mercaptan-Konzentration[mg/Nm^3]	5–100 [1]
[1] [cww/tm/70] [3] [cww/tm/53]	

Vorteile/Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Bioabbau der absorbierten Verbindungen. • Geeignet für mittlere Konzentrationen säurebildender Verbindungen, die Schwefel, Chlor und Stickstoff enthalten. • Geringe pH Korrekturen sind möglich.	• Schwankungen des eintretenden Luftstroms haben einen großen Einfluss auf die Leistung. • Schlecht lösliche Verbindungen sind schwieriger zu behandeln. • Toxische und hohe Konzentrationen säurebildender Substanzen sollten vermieden werden.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswerte [mg/Nm^3]	Bemerkungen
VOC	80-95 [1]		
Ammoniak	80–95 [1]		
Geruch	70–90 [1]		
Schwefelwasserstoff	80–95 [1]		
Mercaptane	70–90 [1]		
Kohlendisulfid	98–99 [2]		Zulaufkonzentration 100 mg/Nm^3
Styrol	80 [2]		Zulaufkonzentration ca. 160 mg/Nm^3
VCM	99 [2]		Zulaufkonzentration bis zu 100 mg/Nm^3
[1] [cww/tm/70] [2] [cww/tm/53]			

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Größe	Bemerkungen
Chemikalien (Nährstoffe, alkalische Verbindungen zur pH Korrektur)		
Wasser		
Belebtschlamm		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	<1 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,1-1 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Aufgrund der biologischen Aktivitäten im Biorieselbettfilter steigt die Salzkonzentration im Kreislaufwasser und es ist von Zeit zu Zeit abzulassen. Dieses Abwasser muss behandelt oder auf anderem Weg entsorgt werden.

Abhängig von den Verunreinigungen oder den Abbauprodukten muss der Überschussschlamm entsorgt werden, z. B. mittels Verbrennung.

Geruch kann gelegentlich aus den Tanks kommen, die das Kreislaufwasser speichern, so dass es notwendig sein könnte, die Abluft zu sammeln und einer Behandlungseinrichtung zuzuführen.

Überwachung

Die Leistung des Biorieselbettsystems wird durch den zugeführten Rohgasstrom und dessen Endkonzentrationen bestimmt. Die Zusammensetzung des Absorptionswassers sollte mittels folgender Parameter überwacht werden, die kontinuierlich zu messen sind [cww/tm/53]:

- pH-Wert,
- Temperatur,
- Sauerstoffkonzentration,
- Leitfähigkeit.

Ökonomische Daten

Kostenarten	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 5000–20000 [1]	
Betriebskosten Labor Betriebsmittel Verbrauchsstoffe		½ Tag pro Woche [1]
[1] [cww/tm/70]		

3.5.2.4 Thermische Oxidation

Beschreibung

Die thermische Oxidation ist ein Oxidationsprozess für brennbare Gase und Geruchsstoffe im Abgasstrom, bei dem eine Mischung von Verunreinigungen mit Luftsauerstoff oberhalb des Selbstentzündungspunktes in einem Brenner erhitzt wird. Die Oxidation findet bei einer hohen Temperatur und ausreichend langer Zeit statt, um eine vollständige Verbrennung zu Kohlendioxid und Wasser zu gewährleisten. Die Zeit, Temperatur (ca. 200–400 °C oberhalb des Selbstzündpunktes), Verwirbelung (zur Vermischung) und die Verfügbarkeit von Sauerstoff beeinflussen die Geschwindigkeit und die Leistung des Verbrennungsprozesses. Diese Faktoren bilden die Basis für die Auslegung der VOC-Oxidationssysteme. Wenn halogenierte VOC anwesend sind, können spezielle Bedingungen erforderlich sein, um die Entstehung (oder die De-Novo-Synthese) von Dioxinen zu unterdrücken; obwohl bei der Verbrennung von Abgasströmen normalerweise nur eine vernachlässigbare Dioxinbildung auftritt:

- Verweilzeit $\geq$ 1 s [cww/tm/118 und 120],
- Temperatur $\geq$ 1100 ºC [cww/tm/118 und 120],
- Sauerstoffgehalt > 3 %,
- Quenchen des Rauchgases nach dem Brenner, um das “Rekombinationsfenster” für Dioxine schnell zu durchlaufen.

Zusätzliche Einrichtungen, z. B. alkalische Wäscher, müssen zur Entfernung von Halogenwasserstoffen installiert werden.

Es werden verschieden Arten der thermischen Oxidationsanlagen betrieben:

- der direkte Oxidationsreaktor beinhaltet eine Brennkammer ohne Wärmerückgewinnung des Abgases;

- Der regenerative thermische Oxidationsreaktor beinhaltet die folgenden Schritte [/tm/132]:
  - Abgas strömt durch eine Eintrittsöffnung in den Oxidationsreaktor und gelangt durch eine Drosselklappe in eine regenerative Kammer
  - Dann strömt das Gas durch einen Keramik-Wärmetauscherschicht, in der die Gastemperatur nahezu bis zu Oxidationstemperatur erhöht wird
  - Das Gas tritt dann in die Brennkammer ein, die mittels Brenner bei ca. 800 °C betrieben wird, wobei die freigesetzte Wärme den Brennstoffverbrauch des Brenners verringert
  - Das Gas verlässt dann die Brennkammer über einen zweiten Keramik-Wärmetauscher, der die thermische Energie zur Vorheizung des nächsten Zyklus verwendet
  - Das Reingas wird dann über ein Auslassventil abgeleitet.

  Wegen der relativ hohen Verbrennungstemperatur, der großen Menge an Überschussluft und des geringen Einflusses der Flamme, werden nur geringe Mengen an Kohlenmonoxid und NO_x gebildet.

  Dieses System ist speziell für Abgasströme mit vergleichsweise hohen Strömungsgeschwindigkeiten (bis zu 200 Nm^3/s) geeignet. Eine Wärmerückgewinnung (Abgasvorwärmung) von 90 – 97 % wird grundsätzlich erreicht [cww/tm/132].

Beispiele für regenerative thermische Oxidationssysteme werden schematisch in Bild 3.67 gezeigt [cww/tm/132]:

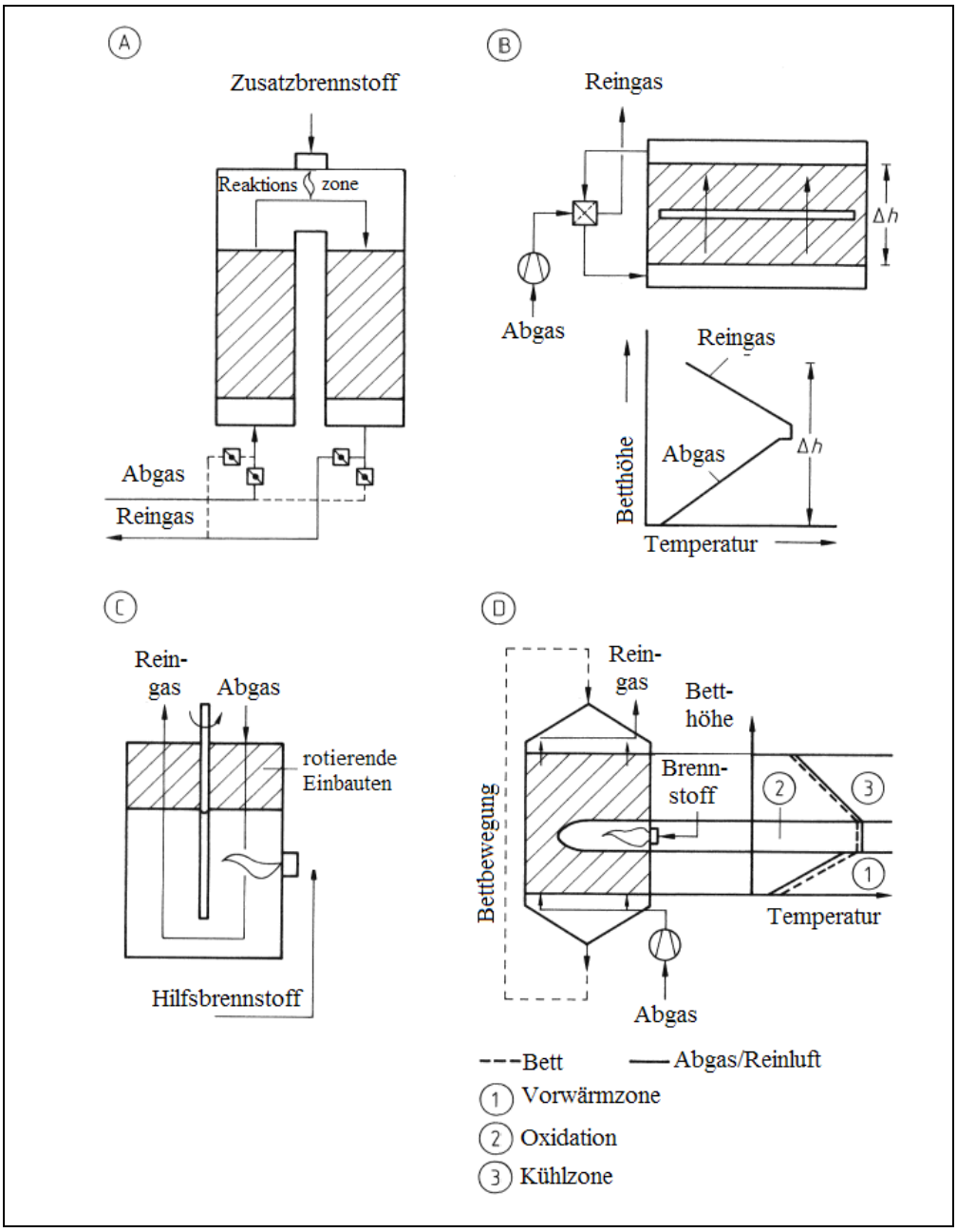

Abbildung 3.67: Schematische Darstellung verschiedener regenerativer Verbrennungssysteme
A) Festbett-Regenerator, B) Combu-Wechsler, C) Ljungstrom Regenerator, D) Wanderbett-Regenerator

- Der rekuperative thermische Oxidationsreaktor, besteht aus einer Verbrennungskammer, dem Abgasvorwärmer und, wenn möglich, einem sekundären Wärmetauscher zur Energierückgewinnung, der die Wärme kontinuierlich an den Vorwärmer überführt. Dieses System ist besonders für Abgasströme mit vergleichsweise geringen Strömungsgeschwindigkeiten (< 14 Nm^3/s) geeignet. Eine Wärmerückgewinnung von 50–80 % wird üblicherweise erreicht [cww/tm/132].

- Gasmotoren und/oder Dampfkessel [cww/tm/133], mit 57 – 67 % Energierückgewinnung. Das Abgas wird in einem Motor verbrannt und erforderlichenfalls wird Erdgas als Zusatzbrennstoff zugeführt. Der nachgeschaltete Generator erzeugt Strom. Der Motor hat einen Katalysator, um das Kohlenmonoxid im Abgas zu oxidieren. Der Motor ist mit einem Dampfkessel gekoppelt, um die Abfallwärme des Abgases für die Dampferzeugung zu nutzen. Das Kesselspeisewasser wird vom Kühlwasser des Motors vorerhitzt. Mit den geringen Verbrennungstemperaturen ist die NO_x–Bildung gering. Das Abgas des Gasmotors wird zur Verringerung des Kohlenmonoxidgehaltes über einen Oxidationskatalysator geführt.

Die Bauart des thermischen Oxidationssystems hängt hauptsächlich von der Art des Abgasstroms ab, der die Verbrennungsbedingungen bestimmt. Einige der wichtigsten Punkte sind:

- Die Brenner
  Einige Brennertypen sind in Tabelle 3.15 beschrieben [cww/tm/79].

Brenner	Merkmale
Flächenbrenner (distributed burner, grid type)	Gibt eine bessere Vermischung des Brennstoffes und der Verbrennungsluft und der heißen Gase mit Nebenstromluft. Das erzeugt eine kurze Flamme und erlaubt somit eine größere Verweilzeit. Es können jedoch nur saubere Gase und gasförmige Bennstoffe verwendet werden. Es kann nur gering gedrosselt werden (Verhältnis zwischen vollem und minimalem Ausstoß) und Verbrennungsluft mit hohem Sauerstoffgehalt kann erforderlich sein.
Einzelstoffbrenner	Ist nicht so teuer wie Flächenbrenner.
Vormisch-Brenner	Bietet eine leistungsfähige Verbrennung, kann aber nur gasförmigen Brennstoff und saubere Luft aufnehmen.
Diffusionsbrenner	Für flüssigen oder gasförmigen Brennstoff und saubere oder schmutzige Luft einsetzbar.
Vortex-Brenner	Bietet leistungsfähige Verbrennung und eine kurze Flamme, aber es ist ein geeignetes Gebläse für Erzeugung von 500 mm Wassersäule notwendig, Drosselung möglich und anfällig für Fouling.
Ölbrenner	Erzeugt längere Flammen, ist teuerer, benötigt mehr Wartung, hat stärker begrenzte Drosselung und ist allgemein nicht so sauber wie Gasbrenner.

Tabelle 3.15: Brennertypen

- Der Mischbereich [cww/tm/79]
  Eine gute Durchmischung kann erreicht werden durch:
  - natürliche Diffusion zwischen turbulenten Strömen,
  - Vermischung der Gasströme an einer Kante,
  - Änderungen der Strömungsrichtung mittels runder Ecken oder nachgeschalteter Leitbleche.

- Brennkammer [cww/tm/79]
  Bedingungen für die Dimensionierung der Brennkammer sind:
  - Durchmesser muss turbulente Strömung ermöglichen,
  - muss für die Flamme groß genug sein, ohne Quenchen,
  - Länge wird von der Länge der Flamme zuzüglich der erforderlichen Länge für die Durchmischung bestimmt,
  - widerstandsfähig gegenüber Temperatur und Korrosion,
  - muss gegen Ausdehnen und Zusammenziehen widerstandsfähig sein.

- Abgasvorbehandlung [cww/tm/79]
  Wenn eine Vorbehandlung vor der thermischen Oxidation erforderlich ist:
  - Kondensation des Wasserdampfes aus dem feuchten Abgas,
  - Entfernung von festen und flüssigen Verunreinigungen,
  - Aufkonzentrierung (z. B. mittels A-Kohle oder Zeolit-Adsorption und anschließender Desorption) zur Verringerung des Gasvolumens des Rohgases,
  - Vorerwärmung, damit Verringerung des Brennstoffbedarfs.

- Sicherheitseinrichtungen [cww/tm/79]
  Erforderliche Sicherheitseinrichtungen sind:
  - Schutz gegen Rückschlagen der Flamme mittels Einrichtungen, z. B. Parallel-Platten Flammenunterdrücker, mehrfach abgeschirmter Flammenunterdrücker und/oder Wasserabdichtungen,
  - Reinigungsperiode für den Brenner beim Start der thermischen Oxidation,
  - Absperren des Gasstroms bei Flammenausfall,
  - Begrenzung der Spitzentemperaturen.

Anwendung

Die thermischen Oxidationsreaktoren werden verwendet, um Emissionen aus nahezu allen VOC Quellen zu verringern, einschließlich der Absaugvorrichtungen von Reaktoren und Destillationsapparaten, Umgang mit Lösemittel und Arbeiten in Öfen, Trocknern und Brennöfen. Sie sind für kleine Änderungen des Gasstromes geeignet; größere Strömungsänderungen erfordern die Verwendung einer Fackel. Der Brennstoffbedarf kann hoch sein, wenn gering belastetes Gas verwendet wird. Thermische Einrichtungen sind daher gut für kleinere Prozesseinheiten mit mittleren bis hohen VOC-Frachten geeignet. Die thermische Oxidation wird für einen großen Bereich industrieller Prozesse zur VOC-Behandlung genutzt, z. B.

- Lagerung und Be-/Entladen von Erdölprodukten und anderen flüchtigen organischen Flüssigkeiten,
- Tankreinigung (Eisenbahnkesselwagen, Tanklastzüge, Schiffe),
- Prozessabgase bei der Synthese organischer Chemikalien,
- Lackherstellung,
- Herstellung von Gummi und Polymeren,
- flexible Vinyl- und Urethanbeschichtungen,
- Lagerung gefährlicher Abfälle und Entsorgungseinrichtungen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen [cww/tm/70]:

	Grenzen /Beschränkungen
Typische Gasströme [Nm^3/h]	900–86000 (direkte und regenerative thermische Oxidation) [1,2] 90–86000 (rekuperative thermische Oxidation) [3]
Temperatur [°C]	750–1000 [4] 980–1200 mit gefährlichen Verbindungen [1,2,3]
VOC-Konzentration im Abgas	<25 % untere Explosionsgrenze [1,2,3]
Aufenthaltszeit [s]	0.5–2 [5] (abhängig von der Temperatur)
Stoffe	Keine Stoffe, die korrosive Verbindungen bilden können, wenn Gasmotore oder Dampfkessel benutzt werden

[1] [cww/tm/120]
[2] [cww/tm/119]
[3] [cww/tm/118]
[4] [cww/tm/132]
[5] [cww/tm/64]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
• Hohe und konstante Leistung. • Einfaches Prinzip. • Zuverlässiger Betrieb. • Rekuperative und regenerative Oxidation haben hohe Wärmeeffektivität, dadurch geringer Brennstoffverbrauch und somit geringere Kohlendioxidemission. • Prozessintegration von Abwärme- und Dampferzeugung ist möglich.	• Emission von Kohlenmonoxid und Stickoxiden. • Gefahr der Dioxinbildung, wenn chlorierte Verbindungen verbrannt werden. • Rauchgasbehandlung ist für schwefelhaltige und/oder halogenhaltige VOC Verbindungen erforderlich. • Zusatzbrennstoff erforderlich für Anfahrvorgang und bei VOC-Konzentrationen unterhalb des Selbstentzündungspunktes.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]			Bemerkungen
	direkt	regenerativ	rekuperativ	
VOC	98->99,9 [1]	95-99 [2]	98-100 [a 3]	
PM_{10}	25-99,9 [1]		25-99,9 [3]	Erdöl und Kohleprodukte
	50-99,9 [1]		50-99,9 [3]	Chemische und Verbundstoffe
Parameter	**Emissionswert [mg/Nm³]**			**Bemerkungen**
	direkt	**regenerativ**	**rekuperativ**	
VOC	<1-20 [b]			Sauerstoffgehalt 3 vol-%

[a] >99,9999 %
[b] kleine Werte für gefährliche Stoffe, hohe Werte für weniger gefährliche Stoffe
[1] [cww/tm/120]
[2] [cww/tm/119]
[3] [cww/tm/118]

Für die Behandlung von VOC ist die Wirksamkeit der thermischen Oxidation im Vergleich zur katalytischen Oxidation höher.

Medienübergreifende Wirkungen

Die wesentlichen Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Brennstoff beim Anfahren und bei nicht autothermen Bedingungen [a]		
Energie [kWh/1000 Nm³]	3–8 [1,2]	
Druckabfall [kPa]	1–5 [1]	

[a] autothermer Bereich für VOC 1–10 g/Nm³ [1]
[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/96]

Neben den Kohlendioxidemissionen gibt es im Abgas Spuren von Kohlenmonoxid und NO_x, abhängig vom Rohgasgehalt und dem Betrieb des thermischen Oxidationsreaktors. Der Gehalt von Kohlenmonoxid wird z. B. mittels Anwendung eines geeigneten Katalysators vermindert; relevante NO_x Mengen können einer weiteren Behandlung unterzogen werden (siehe Abschnitt 3.5.4.2). Die Gegenwart von Schwefel und Halogenen erfordern eine weitergehende Rauchgasbehandlung, z. B. Wäsche mit Wasser oder Lauge (siehe Abschnitt 3.5.1.4) für Halogenwasserstoffe, Kalkinjektion (siehe Abschnitt 3.5.4.1) für die Absorption von Schwefeldioxid oder A-Kohleadsorption (siehe Abschnitt 3.5.1.3) für Dioxinbehandlung, falls die Dioxinbildung/-rückbildung während des Verbrennungsprozesses nicht verhindert wird. In Gegenwart von Organosilikon-Verbindungen kann hoch disperses amorphes Siliziumdioxid gebildet werden, das mittels geeigneter Filtertechniken behandelt werden muss. Eine zusätzliche Gasbehandlung kann Abwasser erzeugen, das auch behandelt werden muss, z. B. mittels Sedimentation (siehe Abschnitt 3.3.4.1.2) oder Neutralisation.

Überwachung [cww/tm/79]

Überwachungsparameter, die bei Überschreitung Alarm auslösen sind:

- Verbrennungstemperatur,
- VOC- Konzentration,
- Kohlenmonoxid-Konzentration,
- Druck,
- Zufuhr von Flüssiggas,
- Zufuhr von Druckluft.

Ein weiterer wichtiger Überwachungsparameter ist der Sauerstoffgehalt im Abgas, der Informationen über die Verbrennungsbedingungen gibt. Das ist entscheidend, wenn Halogenverbindungen thermisch oxidiert werden.

Die Reinigungsleistung kann durch Messen der VOC-Konzentration und/oder des Geruchs vor und nach der thermischen Oxidation bestimmt werden. VOC´s können als Gesamtkohlenstoff mittels Flammen-Ionisations-Detektor gemessen werden. Eine qualitative Analyse der Emissionen kann mittel Stichprobennahme bei ausgewählten Punkten und nachfolgender GC/MS Bestimmung gemacht werden. Die Eliminationsleistungen bei Geruchsstoffen werden bestimmt, indem Stichproben bei geeigneten Messpunkten genommen werden und anschließend mittels Olfaktometrie analysiert werden.

Brenner müssen regelmäßig inspiziert und, falls erforderlich, gereinigt werden. Wenn sich schnell Ablagerungen bilden, müssen Vorsorgemaßnahmen ergriffen werden. Eine effektive Vorbehandlung kann erforderlich sein, um das verunreinigte Abgas vor dem Eintritt in den Brenner zu reinigen. Falls Kohlenstoffablagerungen auftreten, kann dies ein Zeichen dafür sein, dass ein falsches Gas/Brennstoff-Verhältnis verwendet wird und eine Prüfung der Kontrollparameter erforderlich ist.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten			Bemerkungen
	direkt	regenerativ	rekuperativ	
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 2800-59000 [1]	USD 24000-89000 [3]	USD 8900-77000 [4]	
	EUR 10000-40000 [2]	EUR 20000-30000 [2]	EUR 10000-50000 [2]	
		FIM 131000-174000 [5]		
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 24000-45000 [1]	USD 2400-5900 [3]	USD 2800-14800 [4]	
		FIM 6500 [5]		
Labor Betriebsmittel Verbrauchsstoffe	0,5 Tage pro Woche	2 Tage pro Jahr		
Kosteneffektivität [pro Tone Schadstoff pro Jahr]	USD 440-3600 [1]	USD 110-21000 [3]	USD 110-2200 [4]	

[1] [cww/tm/120]
[2] [cww/tm/70]
[3] [cww/tm/119]
[4] [cww/tm/118]
[5] [cww/tm/96]

Kostenfaktoren [cww/tm/80]:

Faktoren	Einfluss / Ergebnisse
Volumen des zu behandelnden Abgases	Dimensionen der Brennkammer
Wärmegehalt des Abgases	Bauart der Verbrennungseinrichtung, Anforderung an Stützbrennstoff
Verbrennungstemperatur	Konstruktionsmaterialien
Messgeräte	
Wärmerückgewinnungsoptionen	
Installationsanforderungen (innen, außen, Grundmaß, Dachhöhe, usw.)	

Brennöfen und Kesselanlagen können für die thermische Oxidation von VOC benutzt werden, wenn die Temperatur und die Verweilzeit im richtigen Bereich liegen. Dies kann eine interessante Option sein, wenn Brennöfen und Kessel bereits vor Ort sind.

3.5.2.5 Katalytische Oxidation

Beschreibung

Die katalytische Oxidation arbeitet ähnlich wie die thermische Oxidation, mit dem Hauptunterschied, dass das durch die Flamme strömende Gas anschließend durch ein Katalysatorbett beleitet wird. Der Katalysator erhöht die Oxidationsgeschwindigkeit und ermöglicht die Umsetzung bei einer niedrigeren Reaktionstemperatur als bei thermischen Oxidation. Katalysatoren ermöglichen daher eine kleinere Bauart. Das Verfahrensprinzip wird in Abbildung 3.68 gezeigt [cww/tm/79].

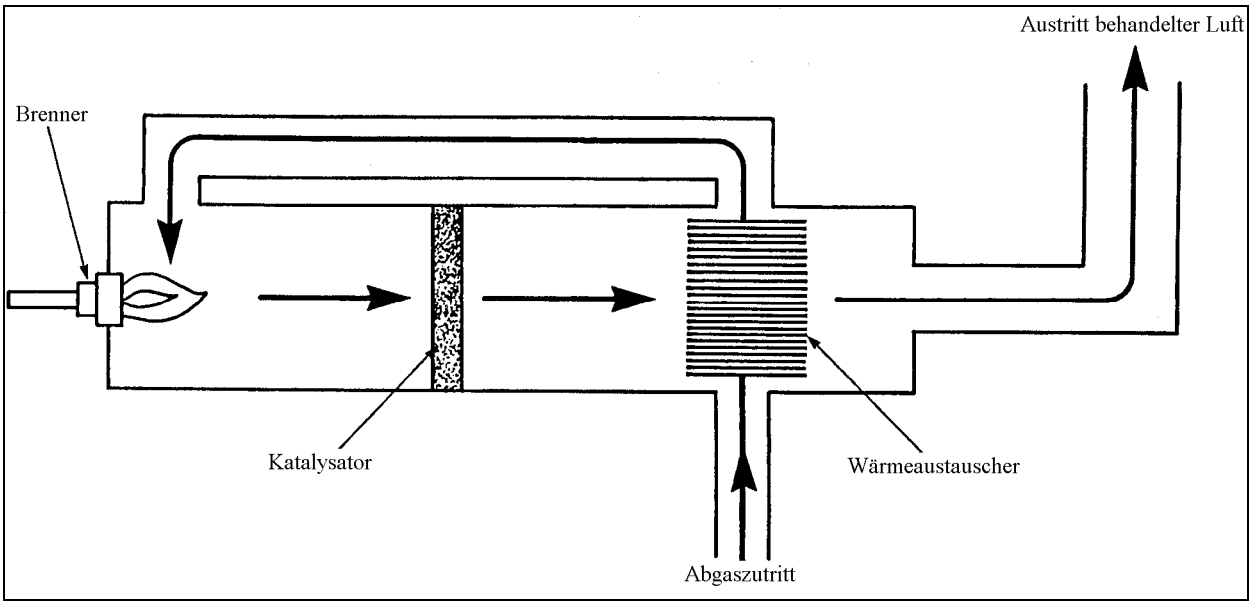

Abbildung 3.68: Verfahrensprinzip der katalytischen Oxidation

Das Abgas wird mittels Hilfsbrenner auf ca. 300 – 500 °C erwärmt, bevor es das Katalysatorbett durchströmt. Die typische maximale Abgastemperatur des Katalysators liegt bei 500 – 700 °C [cww/tm/116].

Die katalytischen Oxidationssysteme werden je nach Art des Kontaktes zwischen Gas und Katalysator unterschieden. Es werden Festbett- und Wirbelbett-Katalysatoren benutzt.

Der Festbettkatalysator kann aus einem monolytischen oder gepackten Katalysator bestehen. Der monolytische Katalysator ist ein poröser fester Block, der getrennte parallele Kanäle besitzt, die in Fließrichtung des Gases ausgerichtet sind. Sein Vorteil ist ein minimaler Abrieb bei der thermischen Ausdehnung/Kontraktion während Anfahr- und Abfahrvorgängen und er bewirkt einen geringen Druckabfall. Der Katalysator mit Schüttschicht-Bett besteht aus Teilchen, die sich in einem Rohr oder flachen Mulden befinden (Schüttschicht), durch die das Gas strömt. Verglichen mit dem monolytischen Katalysator ist der Druckabfall von Natur aus hoch und die Katalysatorpartikel tendieren bei thermischer Ausdehnung zu zerbrechen, wenn das eingeengte Katalysatorbett während der An- und Abfahrvorgänge erhitzt oder gekühlt wird.

Der Vorteil des Wirbelschichtkatalysators besteht in der hohen Durchsatzrate, obwohl der Gesamtdruckabfall im Vergleich zum monolytischen etwas höher ist. Ein zusätzlicher Vorteil von Wirbelbetten besteht in dem hohen bettseitigen Wärmeübergang im Vergleich zum normalen Gaswärmeübergangskoeffizienten. Ein weiterer Vorteil im Vergleich zu Festbett- oder monolytischen Katalysatoren besteht in der höhere Toleranz gegenüber dem Staubgehalt des Gasstroms. Das rührt von dem ständigen Abrieb der Katalysatorteilchen im Wirbelbett her, der kontinuierlich Teilchen von der äußeren Katalysatorschicht entfernt. Ein Nachteil ist der sukzessive Katalysatorverlust durch Verschleiß.

Oxidationskatalysatoren für VOC sind üblicherweise entweder Edelmetalle wie Platin, Palladium oder Rhodium, die auf Stützmaterial wie Keramik oder Metall aufgebracht sind oder Basismetalle auf Keramikpellets, Einzel- oder Mischoxide , die oft auf mechanisch festem Trägermaterial aufgebracht sind wie Oxide von Kupfer, Chrom, Mangan, Nickel, Kobalt usw..

Katalysatoren wie Chrom/Tonerde, Kobaltoxid und Kupferoxid/Manganoxid werden zur Oxidation von Gasen benutzt, die chlorierte Verbindungen enthalten. Katalysatoren auf Platinbasis oxidieren schwefelhaltige VOC, wobei sie schnell durch vorhandenes Chlor deaktiviert werden.

Die Anwesenheit von Katalysatorgiften oder Maskierungsmittel im Abgasstrom, wie Staub oder reaktive Chemikalien, können einen signifikanten Einfluss auf die Standzeit des Katalysators haben. Die Vergiftung durch Belagbildung kann reversibel sein, d. h. die Beladung der Katalysatoroberfläche durch Öl oder Fett vermindert seine Leistung, kann aber durch erhöhte Temperatur abgebrannt werden. Allerdings können bestimmte Chemikalien die Vergiftung des Katalysators irreversibel machen. Solche Katalysatorgifte sind z. B.:

- schnell wirkende Inhibitoren wie Phosphor, Wismut, Arsen, Antimon, Blei, Quecksilber, bewirken einen irreversiblen Verlust der Katalysatoraktivität, dessen Geschwindigkeit von der Konzentration und Temperatur abhängt;
- langsam wirkende Inhibitoren wie Eisen, Zinn, Silizium verursachen einen irreversiblen Verlust der Katalysatoraktivität. Im Vergleich zu den schnell wirkenden Inhibitoren können höhere Konzentrationen toleriert werden;
- reversible Inhibitoren, wie Schwefel, Halogene, Zink verursachen - je nach Katalysator - eine reversible Beschichtung der aktiven Katalysatoroberfläche, dessen Geschwindigkeit von der Temperatur und der Konzentration abhängig ist;
- oberflächenmaskierende Stoffe wie organische Feststoffe verursachen eine reversible Belegung der aktiven Oberflächen;
- Stoffe, die die Oberfläche abtragen oder maskieren, wie inerte Partikel. Sie bedecken die aktiven Oberflächen und erodieren den Katalysator, dessen Geschwindigkeit von der Partikelgröße, der Kornmenge und der Gasgeschwindigkeit abhängt [cww/tm/80].

Wie bei der thermischen Oxidation, werden auch hier unterschiedliche Typen betrieben:

- direkte katalytische Oxidation,
- regenerative katalytische Oxidation,
- rekuperative katalytische Oxidation.

Normale Betriebsbedingungen für die katalytische Oxidation sind z. B.:

- Erdgas als bevorzugter Brennstoff (falls Zusatzbrennstoff benötigt wird),
- Flächenbrenner als geeigneter Brenner,
- Brennkammern aus Edelstahl oder Kohlenstoffstahl,
- Brennerbereich mit ausreichender Länge, um eine gleichmäßige Verteilung des Gasstroms und der Temperatur über der Katalysatoroberfläche zu gewährleisten,
- Gleichmäßiges Strömungsprofil über der Katalysatoroberfläche,
- Abgas durchströmt Katalysatorbett in Pfropfenströmung, mit minimaler Rückvermischung,
- Typische Verweilzeit 0,3 – 0,5 Sekunden.

Wie auch bei der thermischen Oxidation kann eine Abgasvorbehandlung, z. B. die Kondensation des Wasserdampfes aus feuchtem Abgas, die Entfernung von Feststoffen und Flüssigkeiten und - typisch für das katalytische System - die Entfernung von Katalysatorgiften notwendig sein. Die Sicherheitsanforderungen entsprechen denen der thermischen Oxidation (siehe Abschnitt 3.5.2.4).

Die katalytische Oxidation sollte so gestaltet sein, dass man den Katalysator zwecks Reinigung oder Austausch leicht entfernen kann.

Ein Beispiel der regenerativen katalytischen Oxidation wird in Abbildung 3.69 gezeigt [cww/tm/132].

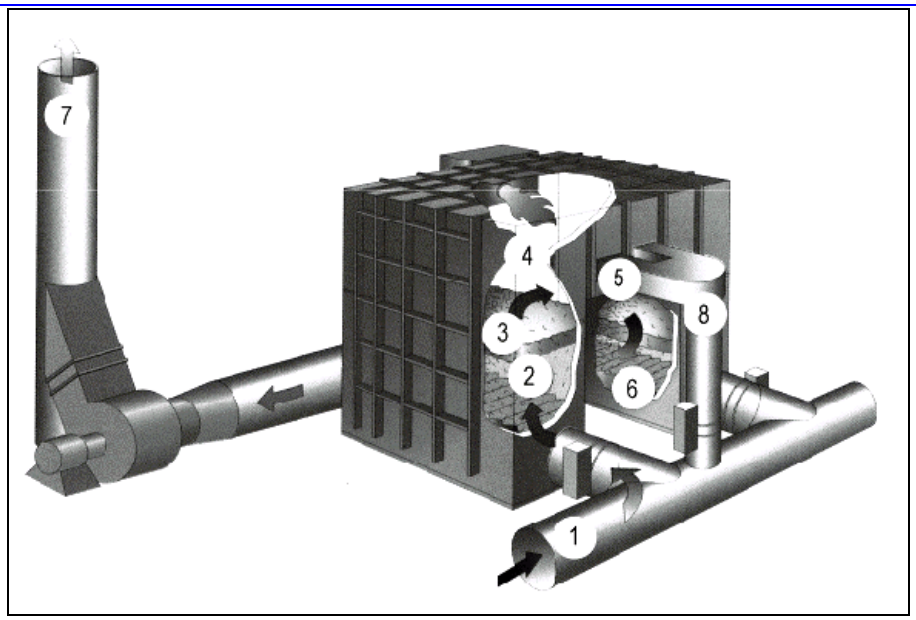

Abbildung 3.69: Regenerativer katalytischer Oxidationsreaktor
1) Abgaseintritt, 2) Keramikbett für Abkühlung, 3) Katalysatorschicht, 4) Brennkammer, 5) Außenschicht des Katalysators, 6) Regenerative Kammer, 7) Austritts-Sammelrohr, 8) Verbindungsrohr

Anwendung

Die katalytische Oxidation wird zur Verringerung der Emissionen von verschiedenen stationären Quellen verwendet. Die Hauptemissionsquelle ist VOC aus der Lösemittelverdampfung. Die katalytische Oxidation wird in vielen Industriesektoren dieser Kategorie verwendet. Beispiele für den chemischen Bereich und ähnliche Bereiche sind:

- Treibstoff-Groß-Verladestationen,
- Prozessabgase bei Betrieben zur Herstellung organischer Chemikalien,
- Gummiprodukte und Herstellung von Polymeren,
- Herstellung von Polyethylenfolie, Polystyrol, Polyesterharz.

Die katalytische Oxidation ist für solche Systeme am besten geeignet, die geringe Abgasvolumen haben, wenn nur geringfügige Änderungen der Art der VOC und deren Konzentration auftreten und wo keine Katalysatorgift oder andere Fouling-Verbindungen vorhanden sind. Andere behandelbare Bestandteile sind Kohlenmonoxid und -bis zu einem gewissen Grad- Staub, wobei letzteres spezielle Betriebsvorrichtungen erfordert.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Typische Gasströme [Nm^3/h]	1200–86000 (direkte und regenerative katalytische Oxidation) [1,2]
	90–86000 (rekuperative katalytische Oxidation) [3]
Temperatur [°C]	300–500 vor dem Katalysator 500–700 nach dem Katalysator
VOC Konzentration im Abgas	<25 % untere Explosionsgrenze[1]
Verweilzeit [s]	0,3–0,5 (abhängig vom Volumen des Katalysatorbettes)
[1] [cww/tm/116] [2] [cww/tm/119] [3] [cww/tm/118]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Kompakter als thermischer Oxidationsreaktor. • Benötigt niedrigere Temperaturen und weniger Zusatzbrennstoff als der thermische Oxidationsreaktor. • Geringe oder keine NO_x–Bildung aus der Luft (ca. 20 – 30 % der Menge rührt aus der thermischen Oxidation her). • CO im Abgasstrom wird vom Katalysator gleichzeitig entfernt. • Ermöglicht hohe konstante und zuverlässige Leistung. • Rekuperative und regenerative Oxidation besitzen eine große thermische Effizienz, daraus resultiert ein geringerer Verbrauch an Zusatzbrennstoff und geringere CO_2-Emission. • Prozessintegration der Restwärme oder Dampfherstellung ist möglich. • Geringe oder keine Isolation erforderlich. • Im Vergleich zur thermischen Oxidation geringere Feuergefahr.	• Geringere Leistung bei der VOC-Zerstörung als die thermische Oxidation. • System ist empfindlich gegenüber Veränderungen des Gas-Heizwertes. • Risiko der Dioxinbildung, wenn chlorierte Verbindungen verbrannt werden. • Alle Katalysatoren sind anfällig für Gifte, Fouling-Stoffe und Stoffe, die die Aktivität vermindern. • Staub muss zuvor muss oft entfernt werden. • Verbrauchter Katalysator, der nicht regeneriert werden kann, muss beseitigt werden.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]			Bemerkungen
	direkt	regenerativ	rekuperativ	
VOC	95 [1]	90-99 [2]		
	98-99 [a 1]			
PM_{10}	25-99,9 [1]			Benzin und Kohleprodukte
	50-99,9 [1]			Chemische und verwandte Produkte
CO		>98 [b 2]		
Geruch	80-95 [3]			
Parameter	**Emissionswert [mg/Nm³]**			**Bemerkungen**
VOC	<1-20 [c]			

[a] erfordert größeres Katalysatorvolumen und/oder höhere Temperaturen
[b] Edelmetall-Katalysator
[c] geringer Wert für gefährliche Stoffe, hohe Werte für weniger gefährliche Stoffe
[1] [cww/tm/116]
[2] [cww/tm/119]
[3] [cww/tm/70]

Medienübergreifende Wirkungen

Die wichtigsten Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Brennstoff während Anfahrphase und bei nicht-autothermen Bedingungen [a] [Nm^3 Methan pro 1000 Nm^3]	0–100	
Energie [kWh/1000 Nm^3]	1–2 [1]	
Druckabfall [kPa]	1–5 [1]	

[a] autothermer Bereich für VOC 1–2 $g/Nm^{3,1}$ (regeneratives System) und 3–5 g/Nm^3 (rekuperatives System)
[1] [cww/tm/70]

Emissionen beinhalten Spuren von Kohlenmonoxid und einen geringen Gehalt an NO_x, wegen der im Vergleich zur thermischen Oxidation relativ geringen Temperatur. Emissionswerte von 15 mg/Nm^3 sind erreichbar.

Der Katalysator hat eine Standzeit von zwei Jahren und wahrscheinlich länger. Er ist dann zu regenerieren oder als chemischer oder sogar gefährlicher Abfall zu entsorgen.

Falls das oxidierte VOC Schwefel und/oder Halogene enthält, sind als weitere Emissionen Schwefeldioxid und/oder Halogenwasserstoffe zu erwarten. Diese sind mittels geeigneter Verfahren zu behandeln.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Betttemperatur, der Druckabfall über dem Bett, die Verbrennungstemperatur und der Gehalt an Kohlenmonoxid und Sauerstoff des Abgasstromes sollten überwacht werden, um die Verbrennungsbedingungen zu steuern.

Die Reinigungsleistung kann mittels Überwachung der Konzentration von VOC und/oder Geruch vor und nach der Oxidationseinheit bestimmt werden. VOC´s können als Gesamtkohlenstoff mittels Flammenionisationsdetektor gemessen werden. Eine qualitative Emissionsanalyse kann durchgeführt werden, indem eine Stichprobe an ausgewählten Probenahmepunkten gezogen wird und anschließend mittels GC/MS analysiert wird. Die Reinigungsleistung für Geruchsstoffe wird bestimmt, indem Stichproben am geeigneten Probenahmepunkt gezogen und mittels Olfaktometrie analysiert werden.

Brenner müssen regelmäßig inspiziert und erforderlichenfalls gereinigt werden. Wenn sich schnell Ablagerungen bilden, müssen Vorbeugemaßnahmen ergriffen werden. Vor Eintritt des verunreinigten Gases in den Brenner, kann eine effektive Vorbehandlung erforderlich sein. Wenn die Ablagerungen vom Kohlenstoff herrühren, kann das darauf hinweisen, dass ein falsches Abgas/Brennstoff-Verhältnis verwendet wird und eine Überprüfung der Kontrollparameter erforderlich ist.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten			Bemerkungen
	direkt	regenerativ	rekuperativ	
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 14000-58000 [1]	USD 24000-89000 [3]		
	EUR 10000-80000 [2]	EUR 30000-40000 [2]		
Jährl. Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 2800-21000 [1]	USD 3600-12000 [3]		
Labor Betriebsmittel Verbrauchsstoffe	0,5 Tage pro Woche	2 Tage pro Jahr		
Kosteneffektivität [pro Tonne Schadstoff pro Jahr]	USD 440-3600 [1]	USD 150-26000 [3]		

[1] [cww/tm/116]
[2] [cww/tm/70]
[3] [cww/tm/119]

Kostenfaktoren [cww/tm/80]:

Faktoren	Einfluss/ Ergebnisse
Abgasgeschwindigkeit e	Größe der Brennkammer
Brennwert des Abgases	Bauart der Verbrennungseinheit, Anforderung an Zusatzbrennstoff
Erforderliche Leistung	Raumgeschwindigkeit und die dafür erforderliche Katalysatormenge
Katalysatortyp	
Messgeräte	
Typ des Wärmeaustauschers	
Anforderungen an Installation (innen, außen, Grundfläche, Dach, usw.)	

3.5.2.6 Fackeln

Beschreibung

Das Fackeln ist ein Oxidationsprozess bei hohen Temperaturen, der für die Verbrennung von brennbaren Abgasbestandteilen aus Industrieanlagen benutzt wird. Es gibt zwei Arten von Fackeln:

- Hochfackeln,
- Bodenfackeln (Grundfackeln).

Hochfackeln, der allgemeinere Typ, haben größere Kapazitäten als Bodenfackeln. Bei Hochfackeln strömt das Abgas durch einen Schornstein mit 10 bis über 100 Meter Höhe und wird an der Spitze des Schornsteins verbrannt. Die Flamme ist atmosphärischen Einwirkungen ausgesetzt (Wind, Niederschlag). Hochfackeln werden im Allgemeinen für große Kapazitäten (hunderte Tonnen pro Stunde) ausgelegt und sind für große Schwankungen des Gasstromes besser geeignet.

Das typische System der Hochfackel besteht aus (siehe Abbildung 3.70 [cww/tm/143]):

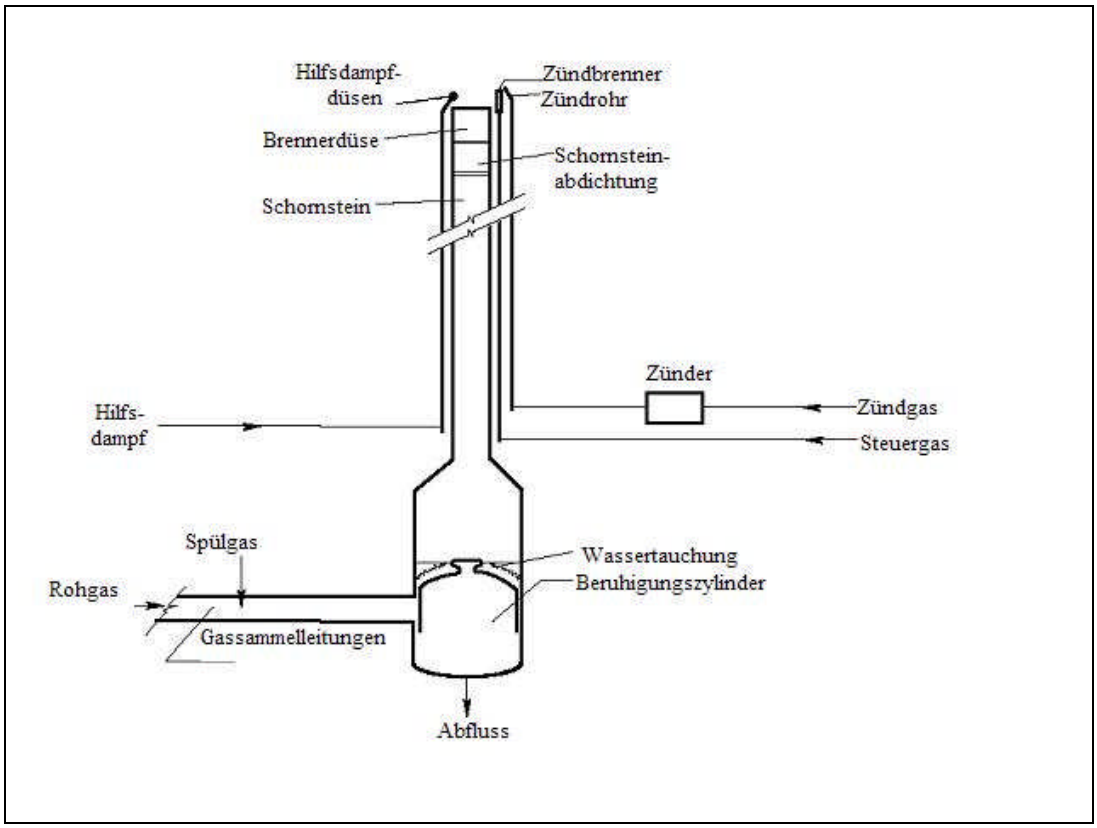

Abbildung 3.70: Typische Hochfackel [cww/tm/143]

- Gassammelleitung und Rohrführung des Sammelgases der Prozesseinheiten,
- Beruhigungszylinder zur Entfernung oder Sammlung von Kondensaten und mitgerissenen Flüssigkeiten,
- geeignete Abdichtung, Wassertauchung oder Spülgaszufuhr, um Rückschlagen zu verhindern,
- Einzel- oder Mehrfachbrenner-Einheit und Fackelschornstein,
- Steuergas und Zünder, um die Abgas-Luft-Mischung zu zünden,
- falls erforderlich, Bereitstellung eines Dampf- oder Druckluftinjektors zum rauchfreien Fackelbetrieb.

Als Spülgas können Erdgas, Brenngas, Inertgas oder Stickstoff verwendet werden.

In **Bodenfackeln** findet die Verbrennung in Bodenhöhe statt. Sie variieren in ihrer Komplexität und können entweder konventionelle Fackelbrenner mit horizontalem Ausgang ohne Kapselung oder mit Stahl ummantelte

Mehrfachbrenner sein. Sie sind für kleine Kapazitäten ausgelegt (einige zehn Tonnen pro Stunde) und behandeln die Grundlast der brennbaren Gase, die von allen Punktquellen herrühren und im Normalbetrieb mit dem Fackelsystem verbunden sind. Dies sind hauptsächlich Leckagen von Sicherheitsventilen und Gase aus An- und Abfahrvorgängen.

Der große Durchmesser der Bodenfackel ermöglicht die Verwendung von mehreren Brennern. Somit kann die Bodenfackel verschiedenen Fackelgasmengen angepasst werden, indem die Zahl der betriebenen Brenner entsprechend angepasst wird. Das verbessert die Verbrennungsbedingungen und führt zu einem höheren Verbrennungsgrad.

Ein neuer Typ von Bodenfackel arbeitet als ein **vorgemischtes Oberflächen-Verbrennungssystem** (premixed surface combustion system) (geschlossener Brenner), wo ein vorgemischtes Gas und Luft an einem permeablen Medium verbrannt wird. Das durchlässige Medium besteht aus mehreren Metallfaserschichten und hält Temperaturen bis zu 1300 °C stand. Das Gas wird zu einem Venturi-Injektor am unteren Ende des Brennersystems geführt und der Injektor zieht die für die stöchiometrische Verbrennung erforderliche Luft. Es können Luftverhältnisse zwischen 1:12 und 1:19 erreicht werden. Im Diffuser, der sich unmittelbar an der Spitze des Venturi-Injektors befindet, ist die Geschwindigkeit der Mischung verringert und somit der Druck erhöht. Damit steigt die Leistung des Venturi-Injektors und bewirkt einen statischen Druck, der die Durchströmung der Gasmischung durch die durchlässige Schicht bewirkt. Vom Verteiler aus tritt die Gasmischung in die Vormischkammer ein und durchströmt das durchlässige Medium, wo es von einem Zündbrenner entzündet wird. Die Verbrennung findet unmittelbar über dem durchlässigen Medium statt. Die Wärme wird konvektiv abgegeben und ermöglicht die Energierückgewinnung. Die geschlossene Verbrennungszone verhindert den Austritt von Wärme und Licht. Das Verfahren wird in Abbildung 3.71 beschrieben [cww/tm/153].

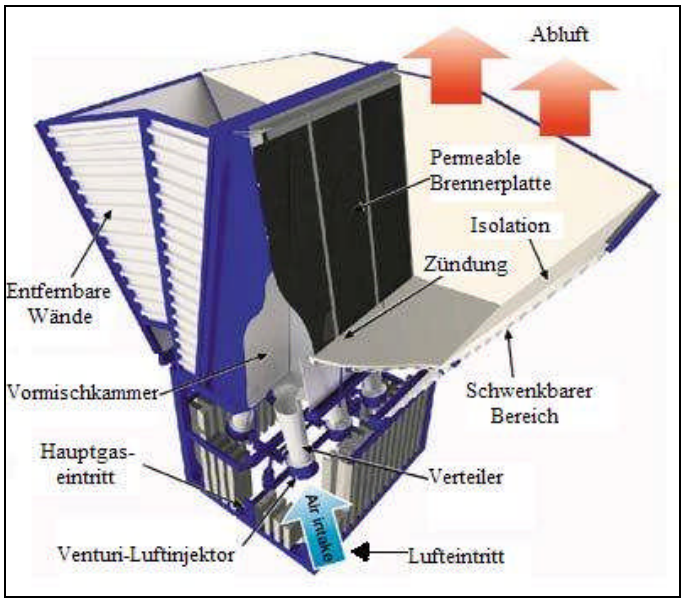

Abbildung 3.71: Hauptbauteile des geschlossenen Brenners

Die Fasermatte wird vom Gasstrom oder der Luft konstant gekühlt. Da die Metallfasern im Vergleich zu ihrem Volumen eine große Oberfläche haben, kühlen sie schnell ab. Diese Tatsache bewirkt, dass die Einheit gegen Flammenrückschlag resistent ist. Sogar bei der geringsten Strömungsgeschwindigkeit reicht der Vormischstrom aus, um die Matte so zu kühlen, dass auf der Vormischseite der Matte eine Temperatur von 150 °C nicht überschritten wird [cww/tm/153].

Ein Einzelmodul umfasst sechs Brennereinheiten mit einer Gesamtkapazität von 90 MW für Erdgas (Wobbe Index 47,8 MJ/Nm^3), wobei jeweils zwei Einheiten mit der Rückseite aneinander in einer Reihe liegen. Die Flamme ist abgeschirmt und wird dann mittels isolierten Wänden nach oben geleitet. Die Wärmestrahlung in die Umgebung ist minimiert und die Erhöhungen der Umgebungstemperatur ist auf weniger als 5 K begrenzt [cww/tm/153].

Die vollständige Verbrennung mittels Fackelsystemen erfordert ausreichende Verbrennungsluft und eine geeignete Vermischung der Luft mit dem Abgas. Abhängig von den Abgaskomponenten, der Menge und der Verteilung der Verbrennungsluft, kann bei der Verbrennung Rauch entstehen. Abgase, die Methan, Wasserstoff, Koh-

lenmonoxid und Ammoniak enthalten, verbrennen rauchfrei. Abgase, die schwere Kohlenwasserstoffe wie Paraffine oberhalb von Methan, Olefine und Aromaten enthalten, verursachen Rauch. Die Industrie benötigt gewöhnlich eine rauchfreie Kapazität von 10 – 15 % für Hochfackeln und 100 % für Bodenfackeln. Zur Rauchunterdrückung wird ein externer Impulsstrom genutzt, wie:

- Dampf mit bis zu 0,7 MPa Messdruck wird gewöhnlich bei großen Anlagen verwendet, wo Dampf leicht verfügbar ist;
- Luft, für Anlagen, die eine kleine und relativ preiswerte Installation besitzen;
- Hochdruckgas, das sehr kostenintensiv ist;
- Wasser mit einem Druck von ca. 2 MPa ist dort geeignet, wo Wasser in großen Mengen zur Verfügung steht.

Externe Impulsströme sind bei Bodenfackeln selten notwendig.

Abgase, die mittels Fackeln verbrannt werden, müssen für eine vollständige Verbrennung einen Wärmegehalt von mindestens 11 MJ/Nm^3 besitzen, sonst muss Zusatzbrennstoff verwendet werden. In einigen Fällen muss selbst dann eine zusätzliche Wärmequelle verwendet werden, wenn das Abgas den notwendigen Wärmeinhalt besitzt. Wenn stickstoffhaltiger Brennstoff vorhanden ist, benötigt der Ammoniak mit einem Wärmegehalt von 13,6 MJ/Nm^3 eine höhere Temperatur, um die NO_x-Bildung zu minimieren.

Industriestandorte arbeiten oft mit integrierten Fackelsystemen, wie eine Kombination von Bodenfackel mit optimaler Brennerbauart für Abgasströme bei Normalbetrieb und Hochfackeln für große Gasströme bei Notfällen und verfahrensbedingten Störungen.

Verschiedene Fackelarten werden in Abbildung 3.72 – Abbildung 3.74 gezeigt [cww/tm/64].

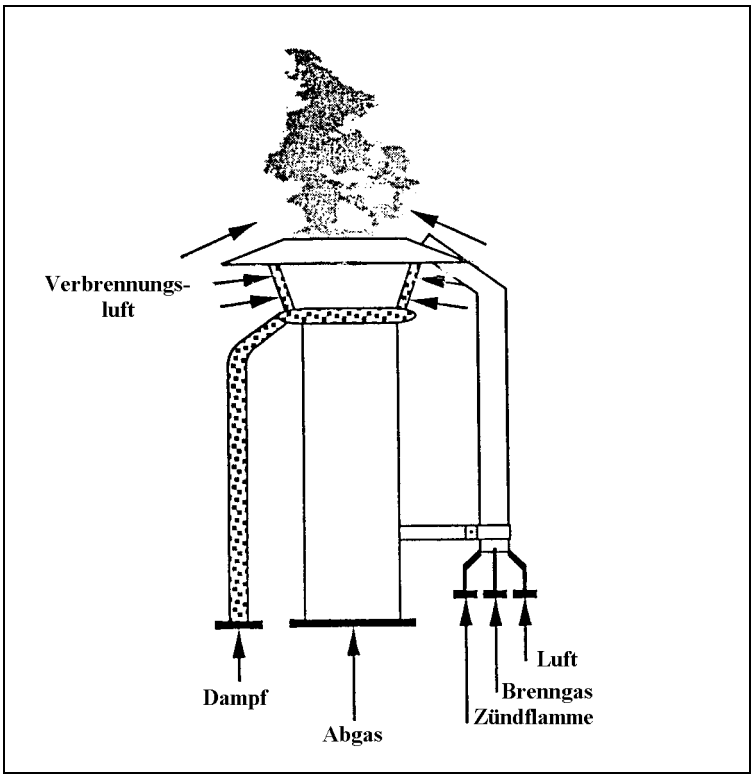

Abbildung 3.72: Injektor Stabfackel

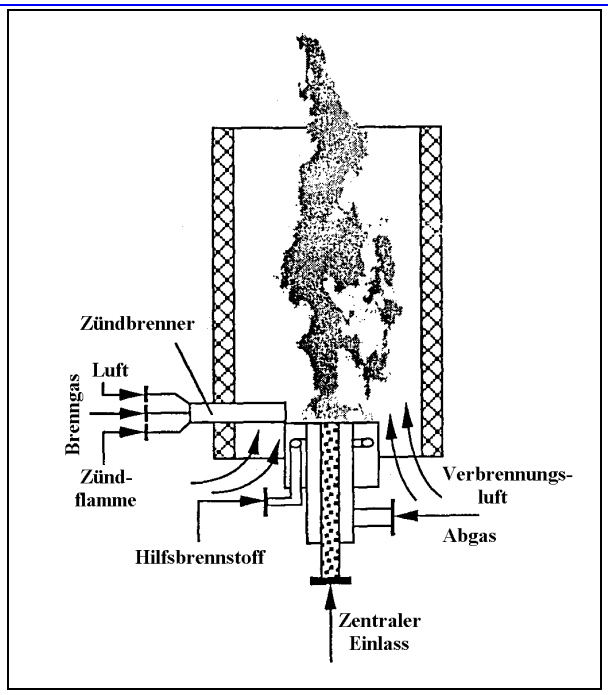

Abbildung 3.73: Geschirmte Fackel

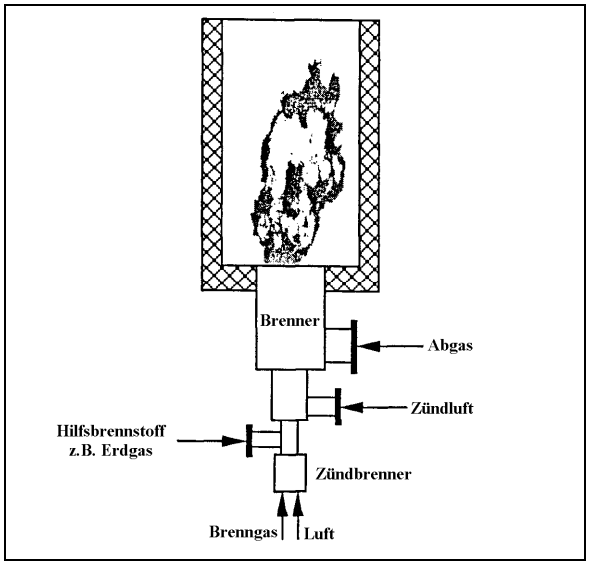

Abbildung 3.74: Muffel-Fackel

Anwendung

Fackeln werden häufig in der Öl-, Gas- und der petrochemischen Industrie benutzt, um überschüssige brennbare Gase und Dämpfe sicher zu entsorgen, wenn es keine Möglichkeit gibt, sie zu verwenden oder zu recyceln. VOC von Absaugvorrichtungen, Pumpen und Kompressoren werden gesammelt und einem Fackelsystem zugeführt. Eine wichtige Funktion der Fackeln besteht darin, das unerwünschte Auftreten von größeren Mengen entflammbarer Gase als Sicherheitsmaßnahme oder unter Notfallbedingungen zu verhindern. In einem Chemiebetrieb sind Stellen mit einer möglichen Freisetzung von brennbaren Gasen an ein Fackelsystem angeschlossen. Fackeln werden jedoch normalerweise nicht regelmäßig als kontinuierliche Maßnahme verwendet. Sie können auch zur Verbrennung von Abgasen aus der Abwasser- / Schlammfaulung verwendet werden.

Während Hochfackeln normalerweise für den Notfall und für Entspannungsgase verwendet werden, werden Bodenfackeln häufiger routinemäßig verwendet, vorausgesetzt, dass das Abgas keine toxischen Bestandteile enthält. Bodenfackeln können im Gegensatz zu Hochfackeln keine großen Schwankungen des Gasstromes behandeln. Falls diese Änderungen auftreten können, ist eine Kombination mit Hochfackeln erforderlich.

Wie in [cww/tm/153] berichtet wird, ist das vorgemischte Oberflächenverbrennungssystem für toxische und gefährliche Gase, z. B. Gasmischungen mit Schwefelwasserstoff anwendbar.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Typische Gasströme	0–1800000 Nm^3/h [1] (obere Grenze für Hochfackeln) 600-210000 Nm^3/d (Wobbe Index-Bereich 15-52 MJ/Nm^3) für Bodenfackeln des vorgemischten Oberflächenverbrennungstyps
Verbrennungstemperatur [°C]	>800 [2] 900-1260 °C (Bodenfackeln des vorgemischten Oberflächenverbrennungstyps)
Verweilzeit in der Brennkammer [s]	1–2 [2]
Druckbereich [kPa]	0-0,73 (Bodenfackeln des vorgemischten Oberflächenverbrennungstyps)
VOC Konzentration im Abgas	0–100 % untere Ex-Grenze mit Sicherheitstechnik [2] 0–50 % untere Ex-Grenze ohne Sicherheitstechnik [2]
Sauerstoffgehalt nach Verbrennung	>5 % [3] (Muffel-Fackel)
Fackelgeschwindigkeit [m/s]	0–20 [3] (um Rückschlag zu verhindern)

[1] [cww/tm/117]
[2] [cww/tm/132]
[3] [cww/tm/64]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
Allgemein • Wirksames Behandlungssystem für überschüssiges und nicht recycelbares Gas oder plötzliche Freisetzungen großer Gasmengen. • Kann verwendet werden, um intermittierende oder schwankende Gasströme zu behandeln.	Allgemein • Keine Schadstoffbehandlung (SO_x, NO_x, Kohlenmonoxid, Halogenwasserstoffe) nach der Fackel. • Rauchunterdrücker erforderlich. • Verbrennungswärme nicht rückführbar. • Hohe Umrüstkosten
Hochfackeln • Schnelle und sichere Behandlung großer Abgasmengen. • Stand-by Anlage für Notfälle.	Hochfackeln • Lichtbelästigung. • Lärmbelästigung. • Schwierige Handhabung kleiner Gasströme. • Koksbildung kann die Düsen blockieren.
Bodenfackeln • Zuverlässige Fackelzündung (geringer Windeinfluss). • Flexibel; kann bei Veränderungen des Gasstroms im unteren Bereich verwendet werden.	Bodenfackeln • Begrenzte Kapazität. • Kann nicht bei großen Schwankungen des Gasstroms verwendet werden; dies erfordert eine Kombination mit Hochfackeln. • Erhöhtes Gesundheits- und Sicherheitsrisiko bei Betriebsstörung. • Möglicherweise verringerte Wirksamkeit aufgrund schlechter Brennstoffqualität. • Geruchsbelästigung.
Bodenfackeln mit vorgemischter Oberflächenverbrennung • Vollständige Verbrennung. • Modulares System für schnellen Aufbau und leichten Transport. • Sehr gutes Verhältnis zum Drosseln (1 : 30 mit Wobbe-Index 15-52 MJ/Nm^3) • Unmittelbare Inbetriebnahme mit voller Kapazität ohne Anfahrzeit. • Geringe NO_x Emissionen. • Energierückgewinnung als eine Option. • Geringe Emissionen von Licht und Wärme.	Bodenfackeln mit vorgemischter Oberflächenverbrennung • Neue Technologie, daher noch nicht weltweit anerkannt. • Im Vergleich zu konventionellen Fackeln hohe Kosten.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Hochfackel		Bodenfackel	
	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]
VOC	>98 [a 1]		>99 [a 2]	
	80-86 [3]		99,9 [c 3]	
NO_x		400 (200 ppm)		400 (200 ppm)
				11,6 (3,9 ppmv) [b,c]
NO				8,6 (2,9 ppmv) [b,c]
Kohlenwasserstoffe (incl. BTEX)				<2,8 (<1 ppmv) [b,c]
CO				-
Lärm				73 dB(A) [b,d]

[a] bei optimaler Bedingung: Wärmegehalt des Abgases >11 MJ/Nm^3 [1], geringe Gasmengen und geringer Wärmeinhalt führen zu geringeren Verbrennungsleistungen
[b] vorgemischtes Oberflächenverbrennungssystem
[c] korrigiert auf 3 % O_2
[d] bei 50 m unter freien Feldbedingungen
[1] [cww/tm/117]
[2] [cww/tm/84]
[3] [cww/tm/153]

Die in der Tabelle dargestellten erreichbaren Emissionswerte beziehen sich auf die Zerstörung der Luftschadstoffe (VOC und Kohlenwasserstoffe) mittels Fackeln. Die anderen Parameter (NO and NO_x) beziehen sich auf Emissionen der Fackeln selbst. Bei den Fackeln ist keine Abgasreinigung installiert, da die bei der Verbrennung von schwefel- und/oder halogenhaltigen Abgasen entstehenden Schadstoffe, NO_x, Kohlenmonoxid, Ruß usw. normalerweise nicht behandelt werden. Aus diesem Grund sind Bodenfackeln nicht für toxische und gefährliche Gase geeignet. Die Kombinations-/Rekombinationsreaktionen zu Dioxinen werden aufgrund des fehlenden "Rekombinationsfensters" und der als Katalysator fungierenden Metalloberflächen nicht gefördert.

Die Reinigungsleistung der Fackeln ist nur unter optimalen Bedingungen gegeben, wie dies in der oberen Tabelle dargestellt wurde. Der Leistungsbereich unter nicht optimalen Bedingungen liegt bei 0 - 98 % [cww/tm/84]. Das bedeutet, dass die Fackeln bzgl. der Änderungen dieser Bedingungen sehr sensitiv sind. Daher ist die Fackelnutzung eine sehr unzuverlässige Behandlungstechnik, wenn sie täglich benutzt wird.

Medienübergreifende Wirkungen

Die wesentlichen Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoffe	Menge	Bemerkungen
Rauchunterdrücker (Dampf, Luft, Wasser, Erdgas)		
Zündgas für die Zündeinrichtung (Propan oder Butan)		
Spülgas (Stickstoff oder Brenngas), um System auf Überdruck zu halten		
Zündgas		
Energie [kWh/1000 Nm^3]		
Druckgefälle [kPa]	1 [1]	

[1] [cww/tm/64]

Das Fackeln kann Lärm verursachen. Die wichtigsten Lärmquellen sind [cww/tm/94]:

- Injektion der Rauchunterdrücker,
- Verbrennungsprozess,
- Entlüftungsstutzen.

Jede dampfunterstützte Fackel erzeugt Lärm, da Hochdruckdampf-Düsen und Injektoren verwendet werden und bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen Lärm entsteht. Hochdruckdampf erzeugt hochfrequenten Lärm, der die Menschen am meisten belastet und die Verbrennungsleistung erhöht. Dabei steigt die Energiefreisetzung und somit die Verbrennungsgeschwindigkeit, die wiederum zu einem höheren Verbrennungslärm führt.

Der Verbrennungslärm ist ein typisch niederfrequenter Lärm, vergleichbar mit dem Lärm von Öffnungen (Absaugvorrichtung) bei der turbulenten Mischung von Abgas mit Luft.

Die Schallbekämpfung ist ein entscheidender Umweltgesichtspunkt und somit ein wichtiger Designaspekt, der in einem frühen Stadium berücksichtigt werden muss. Aspekte zur Lärmvermeidung sind z. B.:

- Reduzierung oder Verminderung des hochfrequenten Dampfdüsen-Lärms durch Verwendung von Multipoint-Dampfinjektoren, die andererseits zu einer erhöhten Koksbildung unter geringen Strömungsbedingungen führen können; Mündungsdesign ist wichtig, um den letzteren Nachteil zu unterdrücken;
- Platzieren des Injektors in der Art und Weise; dass sich die Düsenströme gegenseitig beeinflussen können und den Mischlärm verringern;
- Erhöhung der Leistung der Rauchunterdrückung durch bessere und schnellere Überwachung;
- Begrenzung des Dampfdruckes auf < 0,7 MPa;
- Verwendung eines Schalldämpfers zur akustischen Abschirmung des Injektors;
- Verwendung luftgespeister Fackeln oder gekapselter Bodenfackeln.

Weitere Einflüsse sind:

- Lichtbelästigung von Hochfackeln,
- Geruchsbelästigung wegen unzureichender Verbrennung (meist bei Bodenfackeln).

Es sollte erwähnt werden, dass Fackeln bei einer Reihe von Feuer- und Explosionsereignissen in der chemischen und petrochemischen Industrie beteiligt sind, wie vom Französischen Umweltministerium berichtet wurde (Büro für Risikoanalyse und Industrieschadstoffe). Die Ergebnisse können aus der Datenbasis von AIDA entnommen werden, die von der Organisation bearbeitet wird.

Überwachung [cww/tm/94]

Die Zufuhrmenge der Rauchunterdrücker zur Fackelspitze muss kontrolliert werden, um sicher zustellen, dass ausreichend viel Rauchunterdrücker zugeführt werden; jedoch nicht mehr als für die Rauchvermeidung erforderlich sind. Das kann auf drei verschiedenen Wegen erreicht werden:

- mittels Thermoelemente, bemessen für mindestens 1000 ºC,
- mittels Infrarot-Detektor auf dem Boden,
- durch Messen der Fackelgasströmung im Verhältnis zur Strömung der Rauchhemmer. Die Steuerung der Strömung wird mittels Kontrolle der Ventile vorgenommen oder bei luftgeblasenen Fackeln mittels Änderung des Gebläseanstellwinkels, der Stellung der Einlaßleitschaufeln oder der Gebläsegeschwindigkeit.

Wegen der Gesundheits- und Sicherheitsrisiken ist für Bodenfackeln eine strengere Überwachung erforderlich.

Es ist ein schnell reagierendes Überwachungssystem erforderlich, am besten mittels elektronischer Übertragung der Überwachungssignale zwischen dem entfernten Fackel-Schornstein und dem Kontrollraum. Die Installation eines TV zur Beobachtung der Fackel im Kontrollraum sollte berücksichtigt werden, um erforderlichenfalls einen manuellen Eingriff in die Kontrolle der Rauchunterdrückung zu ermöglichen.

Für die Zündflamme sind Ausrüstungen zur Betriebsüberwachung anzuwenden. Diese beinhalten:

- Thermoelemente (aber Vorsicht wegen fehlerhafter Signale),
- direkte Überwachung der Zündflamme (z. B. TV-Überwachung),
- Infrarot-Messung (Vorsicht: Wasser absorbiert IR), manchmal modifiziert mit optischer Überwachung, um der IR-Absorption des Wasser zu entsprechen,
- Leuchtkraftmessung,
- UV-Messung,
- Untersuchung der Ionisation,
- Alarm für Niederdruck,
- Überwachung des Spülgasesstroms.

Für den kontinuierlichen Nachweis der Anwesenheit der Zündflamme ist ein Gerät erforderlich.

Ökonomische Daten

Kostenart	Hochfackel	Bodenfackel	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 8300-560000 [1]		
Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 420-36500 [1]		
Kosteneffizienz [pro Tonne behandelter Schadstoff pro Jahr]	USD 14-6400 [1]		
[1] [cww/tm/117]			

Es werden die Fackeln berücksichtigt, die an der Spitze einen Durchmesser von 2,5 cm bis 2,3 m haben, 100 %-ig brennbares Abgas mit einem Wärmeinhalt von ca. 17 MJ/Nm^3 verbrennen und zwischen 1 und 100 Stunden im Jahr betrieben werden. Fackeln am unteren Ende der Kapital- und Betriebskosten besitzen eine höhere Strömungskapazität (ca. 300000 Nm^3/h) mit einem Fackeldurchmesser an der Spitze von bis zu 2,3 Metern und sie werden 100 Stunden pro Jahr oder mehr betrieben. Die Fackeln am oberen Ende des Kostenbereichs besitzen eine geringere Strömungskapazität (ca. 36 Nm^3/h), einen Fackeldurchmesser an der Spitze von weniger als 2,5 cm und werden mit weniger als 10 Stunden pro Jahr betrieben.

Fackeln sind eher Sicherheitsvorrichtungen, die Ströme von kurzer Dauer behandeln (im Allgemeinen bei Störungen oder Freisetzung bei einem Unfall), als Behandlungseinrichtungen, die einen kontinuierlichen Abfallstrom behandeln. Es ist daher nicht sinnvoll, die Kosteneffizienz der Fackeln mit anderen Behandlungsvorrichtungen zu vergleichen. Die Kosten pro Tonne behandelter Schadstoff sind stark von den jährlichen Betriebsstunden abhängig. Eine seltene Verwendung der Fackel führt zu höheren Kosten pro Tonne behandelter Schadstoff, während eine häufigere Verwendung bedeutet, dass niedrigere Kosten pro Tonne behandeltem Schadstoff auftreten.

3.5.3 Rückgewinnungs- und Behandlungstechniken für Partikel

Teilchenförmige Schadstoffe sind Staub, Schwermetalle und ihre Verbindungen, Aerosole, Nebel und Ruß, die häufig in Abgasströmen, Rauchgasen und Abluftströmen der chemischen Industrie auftreten. Staubpartikel und Schwermetalle (und/oder die Verbindungen) werden in Produktionsabgasen gefunden, wenn mit Feststoffen und pulverförmige Verbindungen umgegangen wird, diese hergestellt und/oder gelagert werden. Sie treten auch im Rauchgas oder Abluftströmen von Verbrennungsstandorten auf, z. B. Kraftwerken oder bei der Abfallverbrennung. Aerosole und Dunst treten, z. B. während der Reaktion und der Aufarbeitung von Produktmischungen auf. Die allgemeinen Behandlungssysteme werden nachfolgend beschrieben.

3.5.3.1 Abscheider

Beschreibung

Der Abgasstrom gelangt in eine Kammer, in der Staub, Aerosole und/oder Tropfen vom Gasstrom abgetrennt werden. Dies geschieht unter dem Einfluss der Schwerkraft/Masseträgheit, wobei die Wirkung durch Verringerung der Gasgeschwindigkeit aufgrund von baulichen Gegebenheiten verstärkt wird, z. B. durch Bleche, Lamellen oder Metallgazen.

Die Bauart sollte eine gute gleichförmige Geschwindigkeitsverteilung innerhalb des Behälters gewährleisten. Bevorzugte Strömungsbahnen haben einen negativen Einfluss auf den Wirkungsgrad. Der Einbau von inneren Hindernissen im Abscheider ermöglicht den Betrieb bei höheren Geschwindigkeiten, was einer Verringerung des Abscheideraumes im Vergleich zur Absetzkammer entspricht. Der Nachteil ist der steigende Druckabfall.

Anwendung

Ein Abscheider wird gewöhnlich als vorgeschaltete Stufe bei verschiedenen Staubfiltern, Wäschern, Kühltürmen usw. installiert. Er wird verwendet, um z. B. das Mitschleppen von Waschflüssigkeit mit dem gereinigten Abgas zu verhindern und/oder staubförmigen Abrieb zu entfernen. Er ist nicht für die Behandlung von Teilchen im Rauchgas geeignet.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind [cww/tm/70]:

	Grenzen / Beschränkungen
Abgasstrom [Nm^3/h]	100–100000 [1]
Staubgehalt	Keine Begrenzung
Teilchengröße	>PM_{10}, besser >PM_{50} [2]
Temperatur	Normalerweise ungefähr 540 °C, hängt aber vom Behältermaterial ab [2]
[1] [cww/tm/70] [2] [cww/tm/108]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Keine bewegten Teile, daher wenig Wartung. • Sehr geringer Druckabfall. • Geeignet für hohe Temperaturen.	• Geringe Abscheideleistung, speziell bei kleinen Teilchen. • Nicht geeignet, wenn der Dichteunterschied zwischen Gas und Teilchen klein ist.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm^3]	Bemerkungen
Teilchen (PM)	10–90 [1]		Abhängig von Teilchengröße
Tropfen		100 [1]	In Nebelabscheidern
[1] [cww/tm/70]			

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Wasser (bei Reinigungssystem für Bleche oder Lamellen)	100–200 l/m^2 [1]	
Energie [kWh/1000 Nm^3]		Nur für Gebläse
Druckabfall [kPa]	<0,5 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Rückstände sind abgeschiedener Staub und/oder abgeschiedene Tropfen, die entsorgt werden müssen, wenn die Wiederverwendung/Rückführung nicht möglich ist. Je nach Quelle könnte der abgetrennte Staub mit toxischen und gefährlichen Stoffen kontaminiert sein, was bei einer weiteren Behandlung oder Entsorgung berücksichtigt werden muss.

Ökonomische Daten

Die Kapitalkosten sind niedrig. Da der Abscheider gewöhnlich in anderen Systemen integriert ist, kann ein sinnvoller Wert nicht angegeben werden.

3.5.3.2 Zyklon

Beschreibung

Zyklone nutzen für die Entfernung der Teilchen die Trägheit die Zentrifugalkraft in einer kegelförmigen Kammer. Sie arbeiten, indem sie einen doppelten Wirbel im Innern des Zyklonkörpers bilden. Das einströmende Gas wird nach unten hin in eine kreisförmige Bewegung nahe der inneren Oberfläche des Zyklonrohrs versetzt. Am Boden wird das Gas umgelenkt und bewegt sich spiralförmig durch die Rohrmitte nach oben und tritt am Zyklonkopf aus. Die Teilchen des Gasstroms werden durch die Zentrifugalkraft in Richtung Zyklonwand gedrückt. Gegen diese wirkt jedoch die Strömungskraft des Gases, das durch den Zyklon strömt und diesen verlässt. Große Teilchen erreichen die Zyklonwand und werden am Bodenbehälter gesammelt, während die kleinen Teilchen den Zyklon mit dem austretenden Gas verlassen.

Nasszyklone sind hochwirksame Bauteile, bei denen Wasser in den Abgasstrom gesprüht wird, um das Gewicht der Teilchen zu erhöhen. Damit werden auch kleine Teilchen entfernt und die Abscheideleistung erhöht.

Es gibt zwei Arten von Zyklonen, den Zyklon mit Umkehr der Axialströmung und den Axialzyklonabscheider [cww/tm/79]:

- **Zyklon mit Umkehr der Axialströmung** (siehe Abbildung 3.75 [cww/tm/79]), er ist der bekannteste, besteht aus:
  - einer zylindrischen Hülse mit kegelförmigem Unterteil,
  - einem Staubsammelbehälter,
  - einem Lufteinlass, entweder tangential oder axial,
  - Auslass.

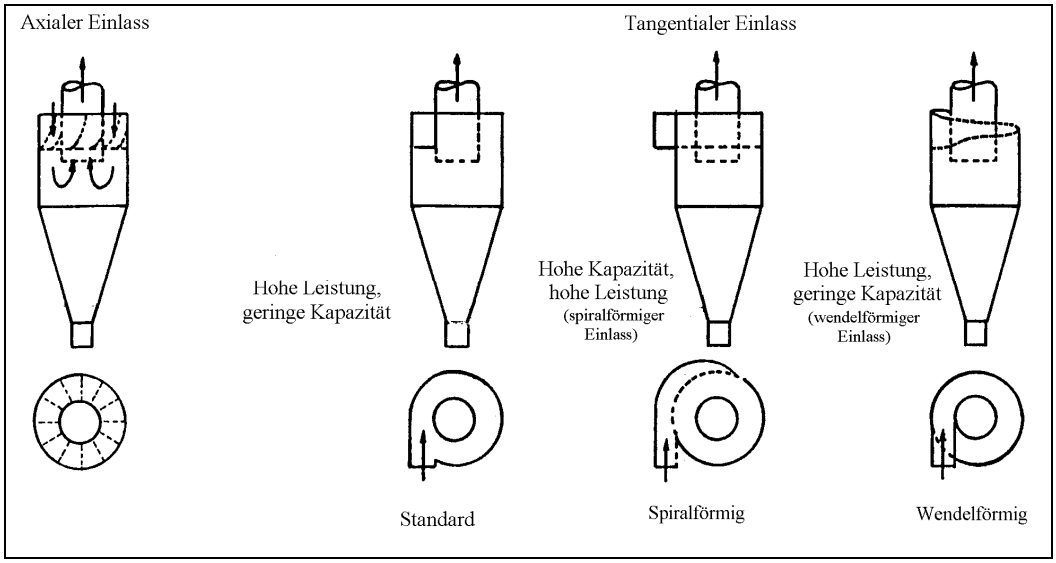

Abbildung 3.75: Zyklon mit Umkehr der Axialströmung (Reverse Flow Cyclone)

- **der Axialstromabscheider** (siehe Abbildung 3.76) [cww/tm/79]) ist mit feststehenden oder sich bewegenden Leitschaufeln ausgestattet, die das einströmende Gas in eine spiralförmige Bewegung versetzen. Das Reingas konzentriert sich entlang der mittleren Achse und die Teilchen konzentrieren sich nahe der Wand.

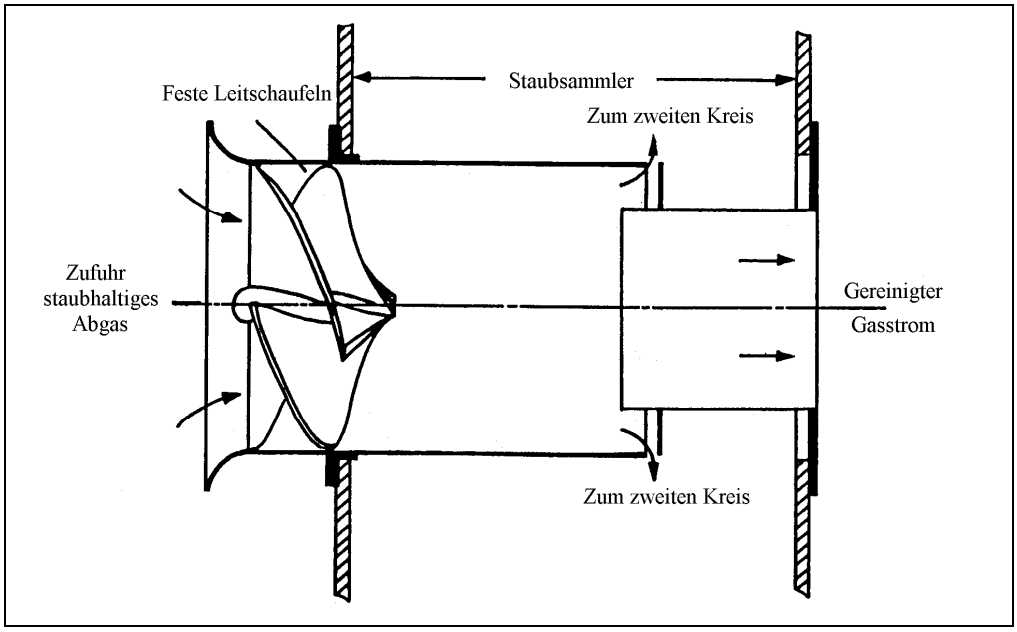

Abbildung 3.76: Axialstromabscheider

Anwendung

Zyklone werden zur Behandlung von Staub verwendet, in erster Linie für Teilchen mit PM > 10 µm. Es gibt jedoch auch Hochleistungszyklone für Teilchen $PM_{2,5}$ [cww/tm/107].

Zyklone selbst sind im Allgemeinen nicht dazu geeignet, um die Anforderungen an Luftschadstoffe zu erreichen. Sie dienen als Vorabscheider für teurere Behandlungseinrichtungen wie Gewebefilter (siehe Abschnitt 3.5.3.5) oder elektrostatische Abscheider (siehe Abschnitt 3.5.3.3). Sie werden häufig nach dem Sprühtrocknen, Zerkleinern, Mahlen und Calcinieren eingesetzt. Mit fossilem Heizstoff betriebene industrielle Verbrennungsanlagen verwenden Mehrfachzyklone, die mit einem größerem Wirkungsgrad als einstufige Zyklone arbeiten und Teilchen mit < 2,5 µm abtrennen können.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Abgasstrom [Nm^3/h]	1–100000 [1,2], (Einzelzyklon)
	Bis zu 180000 [2] (parallele Mehrfachzyklone)
Staubgehalt [g/Nm^3]	1–16000 [2]
Teilchengröße	$<PM_{2,5}$-$<PM_{200}$ [2]
Temperatur	Abhängig vom Behältermaterial, kann >1200 °C [1] sein
[1] [cww/tm/132] [2] [cww/tm/107]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Einfache Installation. • Rückgewinnung von Rohstoff. • Keine bewegten Teile, daher geringer Wartungsaufwand und geringe Betriebskosten. • Trockene Sammlung und Entsorgung, außer bei Nasszyklonen. • Relativ geringer Platzbedarf.	• Relativ geringe Teilchenabtrennung, besonders bei Teilchen mit <10 µm. • Zyklone mit axialem Einlass können nicht verwendet werden, wenn die Partikel eine starke Erosion oder Verblockungen der Leitschaufeln am Einlass verursachen können. • Nicht geeignet für klebriges oder zähes Material. • Abwasseremission bei nassem Zyklon. • Lärm.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Zyklone haben bei höheren Schadstofffrachten eine bessere Leistung, vorausgesetzt, sie werden nicht verstopft. Bei höheren Schadstofffrachten werden im Allgemeinen Bauarten für einen größeren Durchfluss verwendet [cww/tm/107].

Die Abscheideleistung der Zyklone ist eine Funktion der Teilchengröße und der Bauart. Sie steigt an mit [cww/tm/107]:

- Teilchengröße und/oder Dichte,
- Einlassgeschwindigkeit,
- Länge des Zyklonkörpers,
- Anzahl der Gasrotationen im Zyklon,
- Verhältnis des Zyklonkörperdurchmessers zum Durchmesser des Gasaustritts,
- Staubfracht,
- Glätte der Zykloninnenwand.

Die Abscheideleistung sinkt mit [cww/tm/107]:

- Ansteigen der Gasviskosität,
- Ansteigen der Gasdichte,
- Vergrößerung des Bereichs des Einlasskanals,
- Einströmen von Luft in den Staubausgang.

Parameter	Leistung [%]				Bemerkungen
	Konventionell	Hohe Leistung	Hoher Durchsatz	Multi-Zyklon	
PM	70–90 [1]	80-99 [1]	80-99 [1]		
PM_{10}	30-90 [1]	60-95 [1]	10-40 [1]		
PM_5		90 [1]		80-95 [1]	
$PM_{2,5}$	0-40 [1]	20-70 [1]	0-10 [1]		

[1] [cww/tm/107]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Wasser (nasse Zyklone)		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	0,25–1,5 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,5–1 [2]	Geringe Leistung (höher Durchsatz)
	1–1,5 [2]	konventionell
	2–2,5 [2]	Hochleistungsanlagen

[1] [cww/tm/64]
[2] [cww/tm/107]

Der Staub wird als Rückstand ausgetragen und ist zu entsorgen. Die Menge hängt von der Staubbeladung des Abgases ab. Abhängig von der Quelle, kann der abgetrennte Staub mit toxischen und/oder gefährlichen Substanzen kontaminiert sein.

Der Betrieb der Zyklone stellt eine bedeutende Lärmquelle dar, die z. B. durch Einhausung der Anlage zu verringern ist.

Überwachung [cww/tm/79]

Für die Beurteilung der Leistung eines Zyklons kann der Masseaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Gas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenaufprall.

Die Anforderungen an die Wartung für Zyklone sind gering. Es sollte ein leichter Zugang gewährleistet sein, um eine periodische Inspektion des Zyklons auf Erosion oder Korrosion zu ermöglichen. Der Druckabfall über dem Zyklon wird routinemäßig überwacht und der Staubbereich wird auf Blockierungen überprüft.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten		Bemerkungen
	Konventioneller Einzelzyklon	Mehrfachzyklone	
Kapitalkosten [per 1000 Nm^3/h]	USD 1200-1500 [1]	USD 1100-1400 [1]	
	EUR 900 [2]		
Jährliche Betriebskosten [per 1000 Nm^3/h]	USD 700-7800 [1]	USD 450-750 [1]	
	EUR 200 [2]		
Kosteneffizienz [pro Tonne behandeltem Schadstoff im Jahr]	USD 0.45-460 [1]	USD 0,32-50 [1]	
[1] [cww/tm/107] [2] [cww/tm/70]			

Für den konventionellen Einzelzyklon wird eine Strömungsgeschwindigkeit zwischen 1800 and 43000 Nm^3/h, eine Teilchenbeladung zwischen 2,3 and 230 g/Nm^3 und eine Behandlungsleistung von 90 % angenommen. Für einen Mehrfachzyklon liegen diese zwischen 36000 and 180000 Nm^3/h und bei der Teilchenbeladung und Abscheideleistung im gleichen Bereich.

In der Regel sind kleinere Anlagen, die einen Abgasstrom mit geringer Teilchenkonzentration behandeln, teuerer als große Anlagen, für einen Abgasstrom mit hoher Teilchenkonzentration (pro Strömungsgeschwindigkeit und Menge des behandelten Schadstoffes).

3.5.3.3 Elektrostatischer Abscheider – ESP (Elektrofilter)

Beschreibung

Ein Elektrofilter ist eine Behandlungseinrichtung für Staub, bei der die mit dem Gasstrom eintretenden Teilchen mittels elektrischer Feldstärke auf die Kollektorplatten transportiert werden. Die einströmenden Teilchen werden elektrisch aufgeladen, wenn sie die Korona aus ionisiertem Gas passieren. Die Elektroden in der Mitte der Strömungslinie werden mit Hochspannung gespeist und erzeugen ein elektrisches Feld, das die Teilchen zu den Kollektorwänden zieht. Die erforderliche pulsierende Gleichspannung liegt im Bereich von 20–100 kV.

Es gibt mehrere Arten von Elektrofilter:

- trocken arbeitende Draht-Platten-Elektrofilter,
- trocken arbeitende Draht-Röhren-Elektrofilter,
- nass arbeitende Draht-Platten-Elektrofilter,
- nass arbeitende Draht-Röhren-Elektrofilter.

Im **Draht-Platten-Elektrofilter** (siehe Abbildung 3.77 [cww/tm/79]), strömt das Abgas horizontal und parallel zu den vertikalen Platten. Die Hochspannungselektroden sind beschwerte lange Drähte, die zwischen den Platten hängen. Innerhalb jedes Strömungspfades muss die Gasströmung jeden Draht der Reihe nach passieren, wenn die Einheit durchströmt wird.

Im **Draht-Röhren-Elektrofilter** (oder Röhren-Elektrofilter) (siehe Abbildung 3.78 [cww/tm/79]), strömt das Abgas vertikal durch leitende Rohre, wobei im Allgemeinen mehrere Rohre parallel geschaltet sind. Die Hochspannungselektroden sind lange Drähte, die an einem Rahmen im oberen Teil des Elektrofilters angehängt sind und axial durch jede Röhre hängen.

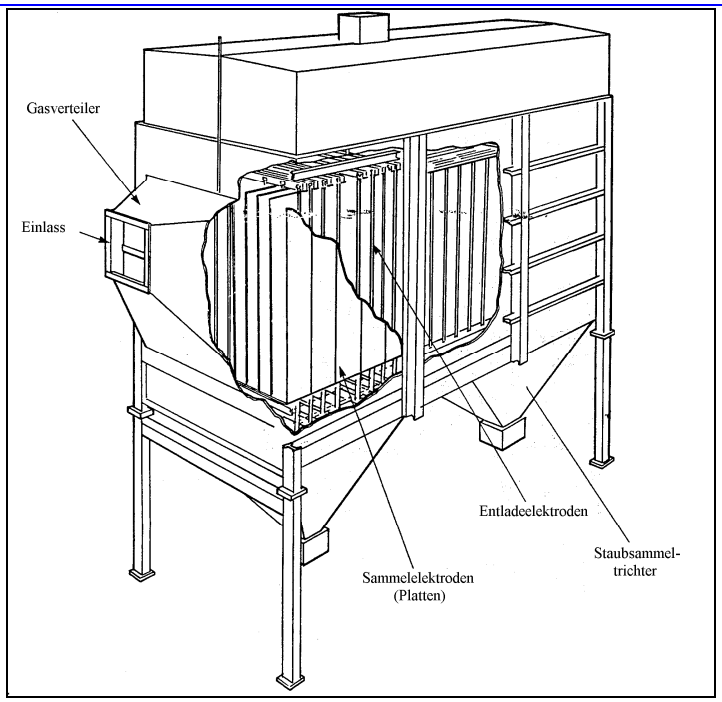

Abbildung 3.77: Draht-Platten-Elektrofilter

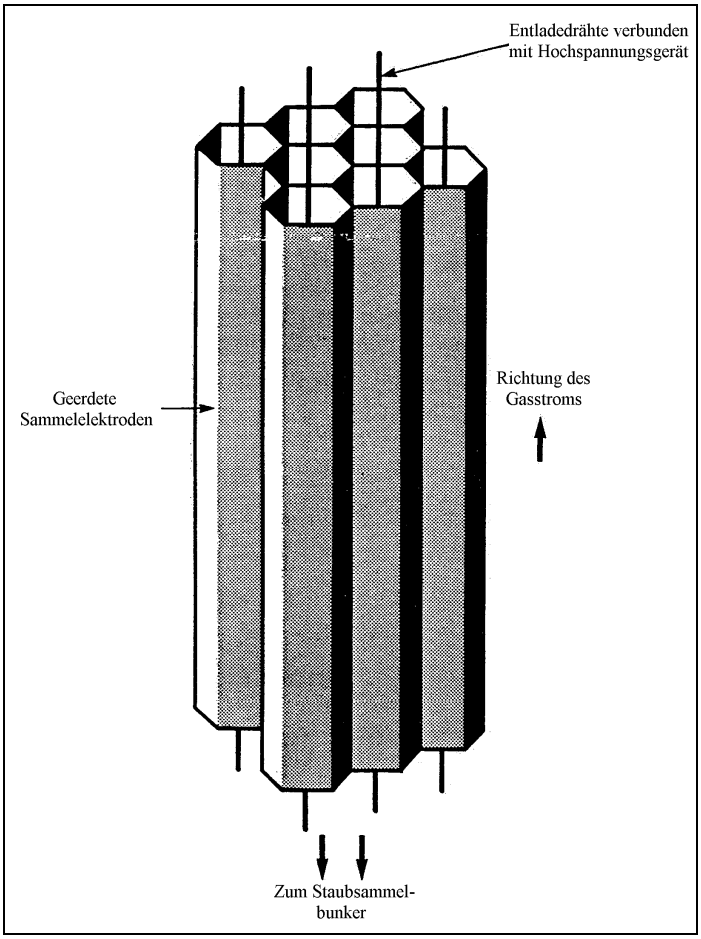

Abbildung 3.78: Draht-Röhren-Elektrofilter

In trocken arbeitenden Elektrofiltern werden die Kollektoren auf verschiedene mechanische Art und Weise angestoßen oder abgeklopft, um die partikelförmige Masse abzuschlagen, die dann nach unten in einen Sammelbehälter fällt. Beim Abklopfen können einige Teilchen wieder in den Gasstrom gelangen. Die im letzten Abschnitt des Elektrofilters wieder freigesetzten Teilchen können nicht wieder eingefangen werden und verlassen

die Anlage. Ein Teil des Abgases könnte auch um die Aufladezonen herum strömen. Deshalb werden Bleche eingebaut, damit diese Kriechströmungen wieder mit dem Hauptgasstrom vermischt werden.

Der trocken arbeitende Draht-Röhren-Elektrofilter kann mittels Schalltrichter/Hornstrahler gereinigt werden. Im Gegensatz zum Draht-Platten-Elektrofilter bilden sich in Draht-Röhren-Elektrofilter keine Kriechpfade um den Abscheidebereich aus. Inhomogenitäten des Feldes können aber dazu führen, dass einige Teilchen nicht aufgeladen werden.

In nassen Elektrofiltern werden die Sammler entweder periodisch oder kontinuierlich mittels Sprühwasser gewaschen. Die Sammelbehälter sind durch ein Drainagesystem ersetzt. Der nasse Ablauf wird gesammelt und behandelt. Nasse Elektrofilter benötigen Waschwasser, das nahe dem Kopf der Abscheiderohre kontinuierlich oder in Zeitintervallen eingespritzt/eingesprüht wird. Dieses Waschsystem ersetzt das Abklopfen oder die akustische Reinigung, die normalerweise bei trockenen Elektrofiltern verwendet wird. Das Wasser fließt mit den abgeschiedenen Teilchen in einen Sumpf, von dem aus die Flüssigkeit abgepumpt oder abgeleitet wird. Ein Teil der Flüssigkeit kann zurückgeführt werden, um die erforderliche Wassermenge zu verringern.

Elektrofilter arbeiten als ein- oder zweistufige Elektrofilter. Im einstufigen Elektrofilter wird das elektrische Feld, das die Koronaentladung erzeugt, auch für die Anziehung und Entfernung der geladenen Teilchen genutzt, wobei das Aufladen und das Entladen in einem Gerät stattfindet. In dem zweistufigen Elektrofilter finden die Aufladung und die Abtrennung der Teilchen in getrennten elektrischen Feldern statt, wobei das zweite rein elektrostatisch ist.

Der grundsätzliche Unterschied zwischen dem einstufigen und zweistufigen Elektrofilter ist in dem folgenden Bild dargestellt Abbildung 3.79 [cww/tm/79].

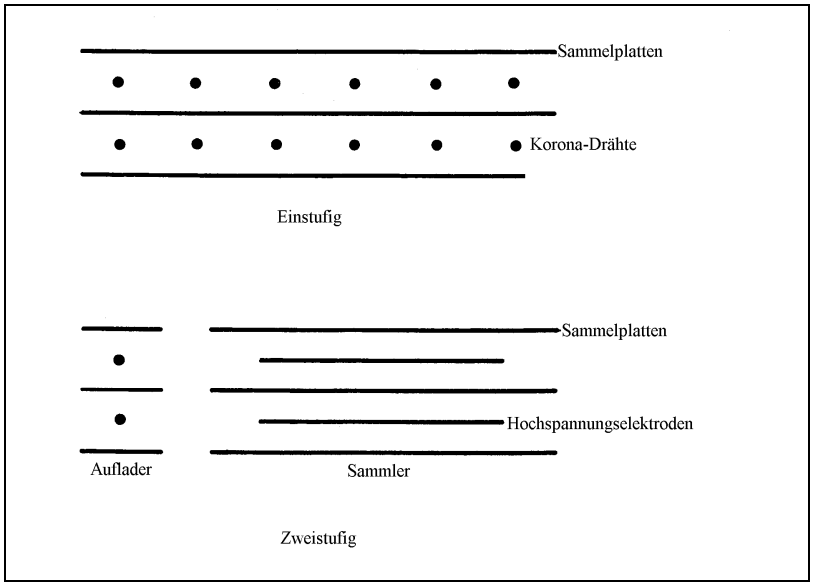

Abbildung 3.79: Schematische Darstellung des einstufigen und zweistufigen Elektrofilters

Ein wesentlicher Betriebsparameter ist die spezifische Abscheidefläche (SCA) – das Verhältnis der Oberfläche der Abscheide-Elektroden zum Gasstrom. Eine höhere spezifische Abscheidefläche entspricht einer besseren Abscheideleistung, erfordert aber größere Kollektoren. Die spezifische Abscheidefläche liegt normalerweise im Bereich von 40 – 160 s/m.

Systeme mit erhöhten Risiken, wie Explosion und Feuer, müssen mit Sicherheitsvorrichtungen wie Explosionsluke oder Berieselungssystem ausgerüstet sein.

Anwendung

Elektrofilter werden für die Entfernung von Teilchen bis zu einer Teilchengröße von $PM_{2,5}$ und kleiner und für gefährliche Luftschadstoffe wie die meisten Metalle (mit Ausnahme von Quecksilber) angewendet.

Anwendungsbereiche in der chemischen Industrie und verwandter Bereiche sind:

Bereich	Elektrofilter-Typ
Kesselanlagen	Trockene Draht-Platte
Chemikalienherstellung (z. B. Schwefelsäure)	Trockene und nasse Draht-Platte und nasse Draht-Röhre
Raffinerien	Trockene Draht- Platte
Verbrennung	Trockene Draht-Platte, trockene und nasse Draht-Röhre

Nass arbeitende Elektrofilter werden dann benutzt, wenn die trockene Variante nicht geeignet ist, z. B.:

- nasses und klebriges Material,
- entflammbare/explosive Mischungen,
- Material mit hohem spezifischem Widerstand,
- wenn höhere Abscheideleistungen erwünscht sind,
- um saure Nebel abzuscheiden.

Der einstufige Elektrofilter wird bei großen komplexen Rauchgasbehandlungsanlagen, z. B. in Kraftwerken und in Abfallverbrennungsanlagen als Staub- und Flugaschebehandlung verwendet. Als Staubbestandteile werden Schwermetalle und ihre Verbindungen zusammen mit anderen Teilchen abgeschieden und entsorgt. Er ist auch für die Abscheidung von Aerosolen und Nebel geeignet.

Der zweistufige Elektrofilter wird angewandt, um Staub und Ölnebel zu entfernen. Er ist eine Alternative zur Oberflächenfiltration (HEPA-Filter). Der zweistufige Elektrofilter wird üblicherweise dort eingesetzt, wo kleine Abgasströme (< 25 Nm^3/s) und ein hoher Anteil an submikroskopischen Teilchen, z. B. Rauch oder Ölnebel, enthalten ist.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen/ Beschränkungen
Typischer Abgasstrom [Nm^3/h]	360000–1800000 (trockene Draht-Platte) [1]
	1800–180000 (trockene Draht-Röhre) [2]
	180000–900000 (nasse Draht-Platte) [3]
	1800–180000 (nasse Draht-Röhre) [4]
Temperatur [°C]	Bis zu 700 (trockener Elektrofilter) [1,2]
	<80 – 90 (nasser Elektrofilter) [3,4]
Typischer Staubgehalt [g/Nm^3]	2–110 (Draht-Platte) [1,3]
	1–10 (Draht-Röhre) [2,4]
Spezifischer Widerstand [Ω cm]	5×10^3–2×10^{10} [1,3] (trockener Elektrofilter)
Teilchengröße	>$PM_{1,0}$ (trockener Elektrofilter)

[1] [cww/tm/125]
[2] [cww/tm/124]
[3] [cww/tm/127]
[4] [cww/tm/126]

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Leistung auch bei kleinen Teilchen. • Geeignet für große Bereiche der Temperatur, Druck und Gasströme. • Geringer Druckabfall, daher geringer Energieverbrauch. • Ein nass arbeitender Elektrofilter kann auch klebrige Teilchen, Nebel und hochresistenten oder explosiven Staub behandeln.	• Explosionsrisiko bei trockenem Elektrofilter. • Die Abscheidekapazität hängt vom spezifischen Widerstand der Staubpartikel ab (mit trockenem Elektrofilter). • Mitschleppung kann problematisch sein wegen der hohen Gasgeschwindigkeiten, des zu geringen Abschlagens oder der geringen Gasströmung. • Korrosion nahe des Drahtkopfes aufgrund der Luftleckage und der Säurekondensation- dies ist auch ein Problem beim nassen Elektrofilter. • Empfindlich bzgl. Wartung der richtigen geometrischen Justierung, z. B. der Drahtentladungselektroden. • Empfindlich bzgl. Schwankungen der Strömungsbedingungen (Strömungsgeschwindigkeit, Temperaturen, Partikelgröße und Gaszusammensetzung, Teilchenfracht). • Relativ großer Platzbedarf • Hochqualifiziertes Personal erforderlich. • Spezielle Vorsorge zum Schutz des Personals vor Hochspannung. • Trockene Elektrofilter werden nicht für klebrige oder feuchte Teilchen empfohlen.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Die Größe des Elektrofilters ist der wichtigste Faktor, der die Abscheideleistung bestimmt. Andere Parameter, die die Abscheideleistung beeinflussen, sind:

- spezifischer Widerstand des Staubes,
- Zusammensetzung des Staubes und des Gases,
- Temperatur,
- Verteilung der Teilchengröße.

Parameter	Leistung [%]		Bemerkungen
	Trockener Elektrofilter	Nasser Elektrofilter	
Gesamte Teilchen	99,0–99,2 [1]	99,0–99,2 [2]	
PM_{10}	97,1–99,4 [1]	97,1–99,2 [2]	
$PM_{2,5}$	96,0–99,2 [1]	97,4–99,2 [2]	
Parameter	**Emissionswert [mg/Nm³]**		**Bemerkungen**
	Trockener Elektrofilter	**Nasser Elektrofilter**	
Staub	5–15		Für gut gebaute und richtig dimensionierte Elektrofilter

[1] [cww/tm/125]
[2] [cww/tm/127]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Wasser (für nassen Filter)		
Energie [kWh/1000 Nm³]	0,5–2 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,05–0,3 [1,2]	Einstufiger Elektrofilter
	0,5	Zweistufiger Elektrofilter

[1] [cww/tm/64]
[2] [cww/tm/70]

Bei trockenen Elektrofiltern wird der Staub als Rückstand ausgeschleust, bei nassen Elektrofiltern ist der abgetrennte Staub mit Spülwasser vermischt, das als Abwasser behandelt wird.

Je nach Quelle kann der Staub kontaminiert sein - z. B. könnte der Staub aus der Verbrennung Dioxine und/oder Schwermetalle und ihre Oxide enthalten. Dieser Staub könnte als gefährlicher Abfall zu klassifizieren sein, der entsprechend zu entsorgen ist.

Überwachung [cww/tm/79]

Für die Beurteilung der Leistung eines Elektrofilters kann der Massenaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Gas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbare Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenaufprall. Der Strom und die Spannung über dem Elektrofilter, die Abklopfrate und die Temperatur müssen routinemäßig überwacht werden. Der Staubaustrag aus dem Staubsammelbehälter muss frei von Verblockungen sein, so dass der Sammelbehälter nicht überfüllt wird und dadurch einen Kurzschluss des Elektrofilters verursacht.

Der Elektrofilter muss regelmäßig kontrolliert werden, um jede Verschlechterung, z. B. Korrosion der Elektroden, des Isolationsmaterials und des Abklopfsystems festzustellen. Daher muss der Zugang zum Abscheider frei von Hindernissen sein, aber den Sicherheitsstandards entsprechen.

Ökonomische Aspekte

Kostenart	Kosten			
	Trockene Draht-Platte	Nasse Draht-Platte	Trockene Draht-Röhre	Nasse Draht-Röhre
Kapitalkosten [per 1000 Nm^3/h]	USD 8500-28000 [1]	USD 18000-36000 [2]	USD 18000-120000 [3]	USD 35000-180000 [4]
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 2400-24000 [1]	USD 3500-27000 [2]	USD 2800-5600 [3]	USD 4200-7000 [4]
Kosteneffizienz [pro behandelte Tonne im Jahr]	USD 45-280 [1]	USD 60-600 [2]	USD 55-950 [3]	USD 90-950 [4]

[1] [cww/tm/125]
[2] [cww/tm/127]
[3] [cww/tm/124]
[4] [cww/tm/126]

Die Kosten können für Schadstoffe beträchtlich höher sein als die dargestellten Bereiche, wenn ein ungewöhnlich hoher Abscheidegrad erforderlich ist oder wenn der Elektrofilter aus speziellen Materialien wie Edelstahl oder Titan besteht. Im Allgemeinen werden kleinere Anlagen zur Behandlung niedrig konzentrierter Abgasströme nicht so kosteneffizient sein wie größere Anlagen, die hoch belastete Schadstoffströme reinigen.

3.5.3.4 Nassentstauber

Beschreibung

Die Nassentstaubung ist eine Variante der nassen Gaswäsche (siehe Abschnitt 3.5.1.4), bei der die gleichen oder äquivalenten Verfahren verwendet werden, um Teilchenmaterial und zusätzlich die Gaskomponenten zu behandeln oder zurückzugewinnen. Hauptsächlich werden die folgenden unterschiedlichen Wäscher betrieben:

- **Fasergepackter Wäscher**
  Siehe Abschnitt 3.5.1.4. Er ist hauptsächlich für gasförmige Verunreinigungen geeignet. Bei Staub ist er für die Abtrennung von Feinstaub und/oder löslichen Teilchen, für Aerosole und Nebel begrenzt. Unlösliche und/oder grobe Teilchen verblocken das Faserbett.
- **Wanderbettwäscher**
  Siehe Abschnitt 3.5.1.4.
- **Plattenwäscher**
  Siehe Abschnitt 3.5.1.4. Ihre Hauptanwendung ist die Staubentfernung.

- **Sprühtürme**
  Siehe Abschnitt 3.5.1.4. Ihre Hauptanwendung ist die Staubentfernung. Sprühtürme sind im Vergleich zu gepackten Wäschern nicht so Fouling anfällig, es sind aber sehr hohe Flüssigkeits-/Gasverhältnisse (> 3 l/m^3) erforderlich, um Feinstaub abzutrennen.
- **Wirbelwäscher**
  Im Wirbelwäscher befindet sich ein Mechanismus zur Beschleunigung des eintretenden Gasstroms hin zu einer Flüssigkeitsoberfläche und einem Abscheider für mitgerissene Stoffe. Sie sind im Allgemeinen nicht für Massenübergangsvorgänge geeignet, z. B. der Entfernung von Spurengas, können aber große oder kleine Gasströme behandeln und arbeiten mit geringeren Druckverlusten als Venturiwäscher.

  Ein Beispiel wird in Abbildung 3.80 gezeigt [cww/tm/79].

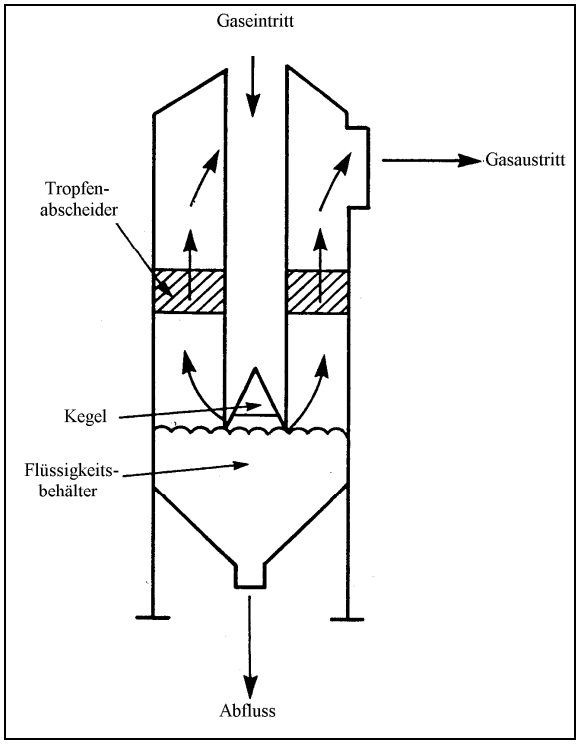

Abbildung 3.80: Wirbelwäscher

- **Venturiwäscher**
  Das charakteristische Merkmal eines Venturiwäschers ist die Verengung des Führungsrohres - die Venturi Kehle -, die eine Erhöhung der Gasgeschwindigkeit bewirkt. Es wird eine Flüssigkeit eingespeist, die an den Wänden einen Film bildet, welcher von einem Gasstrom in der Venturi-Kehle zerstäubt wird. Alternativ wird bei der Venturi-Strahlpumpe die Flüssigkeit direkt in die Venturi-Kehle gesprüht. Venturi-Wäscher sind sehr wirksame Staubwäscher, da sie bis hin zu Submicron-Teilchen geeignet sind. Sie können auch für die Entfernung von Spurengasen verwendet werden, insbesondere für reaktive Schlämme. Ein Beispiel wird in Abbildung 3.81 gezeigt [cww/tm/79].

  Mit dieser Technik ist das Problem der Erosion verbunden, die wegen der hohen Kehlgeschwindigkeit auftreten kann. Die Venturi-Kehle wird manchmal mit einem widerstandsfähigen Belag ausgestattet, um der Abrasion durch Staubteilchen zu widerstehen. Ein überströmtes Winkelstück, das nach der Venturi-Kehle angebracht ist, verringert den Abtrag durch abrasive Teilchen. Der Venturi-Wäscher ist aus korrosionsfestem Material gebaut und für eine maximale Lebensdauer ausgelegt. Letztendlich hängt die Materialwahl von verschiedenen Faktoren ab, wie:

  - Temperatur,
  - Abrasion,
  - Korrosion,
  - Chemische Aggressivität.

Die Abscheideleistung steigt mit der Gasgeschwindigkeit und dem Druckabfall an. Einige Venturi-Wäscher wurden entworfen, um eine Geschwindigkeitsveränderung durch Variation der Weite der Venturi-Kehle zu ermöglichen.

Im Allgemeinen wird keine Vorbehandlung für Venturi-Wäscher benötigt, obwohl in einigen Fällen das Abgas gequencht wird, um die Temperatur des Wäschers zu verringern, falls das Wäschermaterial empfindlich gegenüber hohen Temperaturen ist.

Wenn der zu behandelnde Abgasstrom sowohl Staub als auch gasförmige Stoffe enthält, kann der Venturi-Wäscher zur Vorbehandlung benutzt werden, um Staub zu entfernen, damit ein Verblocken der nachgeschalteten Gasbehandlungseinrichtung vermieden wird, wie dies bei Festbettwäschern auftritt.

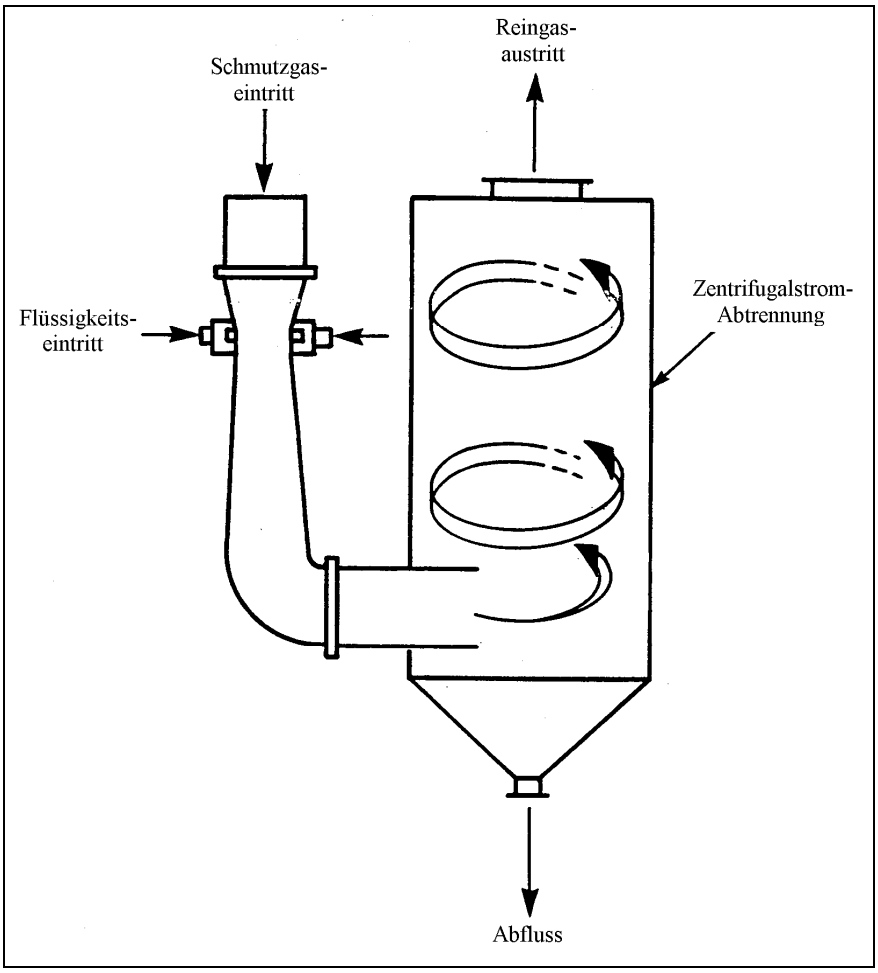

Abbildung 3.81: Venturi-Wäscher

Anwendung

Siehe Tabelle 3.16.

	Faserpackung	Wanderbett	Platte	Sprühtürme	Wirbelwäscher	Venturi
	scheidet feine und / oder lösliche Teilchen ab; als Nebelabscheider zur Abscheidung flüssiger Aerosole, Anorganika und VOC; Behandlung von Aerosolemissionen der chemischen Industrie, Betriebe zur Herstellung von Kunststoffen, Asphalt, Schwefelsäure, Oberflächenbeschichtungsstoffen; nur begrenzte Staubabscheidung		Abscheidung von $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, PM_{HAP}; anorganischer Rauch, Dämpfe, Gase, VOC;	Abscheidung von $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, PM_{HAP}, anorganischer Rauch, Dämpfe, Gase, VOC; oft als Teil der Rauchgasentschwefelung verwendetet; nur begrenzte Verwendung für Feinstaub	Abscheidung von PM10-PM2; Verwendet in der Pharma- und Verpackungsindustrie, Herstellung von Chemikalien, Gummi, Kunststoff, Keramik, Düngemittel; Verwendet bei Trockner, Kocher, Zerkleinern und Mahlen, Sprühen, Lüftung, Materiallagerung/-transport	Abscheidung von $\leq PM_{10}$, $\leq PM_{2,5}$, bis hinab zu Submicron (< 1 µm); Behandlung von Teilchenemissionen aus Zusatzeinrichtungen, industrielle, handelsübliche und fest installierte Kesselanlagen, mit Kohle, Öl, Holz und flüssigem Abfall betrieben; Behandlung von Emissionsquellen der chemischen Industrie und verwandter Industrie; typische Anwendung wo hohe Abscheidegrade für Feinstaub erforderlich sind
Gasstrom [Nm^3/h]	1800–170000 [1]		1700–130000 [2]	2500–170000 [3]	1700–90000 [4]	720–100000 [5]
Temperatur [°C]	<60 [1]		4–370 (PM) [2]	4–370 (PM) [3]	bis zu 150 [4]	4–370 [5]
			4–38 (Gase) [2]	4–38 (Gase) [3]		
Schadstoffbelastung [g/Nm^3]	0,2–11 [1]		keine Grenzen	keine Grenzen	bis zu 23 [4]	1–115 [5]

[1] [cww/tm/110];
[2] [cww/tm/111];
[3] [cww/tm/114];
[4] [cww/tm/112];
[5] [cww/tm/115]

Tabelle 3.16: Anwendung, Anwendungsgrenzen und Beschränkungen verschiedener Nassentstauber

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
Allgemein • Kann leicht entzündliche und explosive Stäube mit geringem Risiko behandeln. • Kann heiße Gasen kühlen. • Korrosive Gase können neutralisiert werden. • Gleichzeitige Entfernung von Staub und anorganische Verbindungen.	Allgemein • Austretende Flüssigkeit kann Wasserverschmutzung verursachen. • Abgetrennte Abfälle sind nass. • Schutz gegen Einfrieren erforderlich. • Abgetrennter Staub kann verunreinigt und/oder nicht wieder verwendbar sein. • Es kann notwendig sein, Abgas zur Vermeidung der Rauchfahne zu erhitzen.
Fasergepackter Wäscher • Kann Nebel behandeln. • Relativ geringer Druckabfall.	Fasergepackter Wäscher • Große Gefahr für Korrosionsprobleme. • Nicht wirklich geeignet für die Abscheidung von Staub, sondern nur für Feinstaub und/oder lösliche Teilchen.
Plattenwäscher • Ermöglicht Gasabsorption und Staubabscheidung in Einzelanlage. • Kann Nebel behandeln. • Abscheideleistung kann variieren. • Verbessert den Gas-Schlamm-Kontakt für die SO_2 Entfernung.	Plattenwäscher • Hohes Potenzial für Korrosionsprobleme
Sprühtürme • Geeignet zur Abscheidung von Teilchen als auch von Gasen. • Relative frei von Verstopfungen. • Relativ geringer Platzbedarf. • Relativ geringer Druckabfall. • Betrieb in hoch korrosiver Atmosphäre möglich bei Verwendung von glasfaserverstärktem Kunststoff.	Sprühtürme • Relativ geringer Wirkungsgrad beim Masseübergang. • Relativ ineffizient bei Feinstaubentfernung • Bei Ausführungen mit glasfaserverstärktem Kunststoff-temperaturempfindlich.
Wirbelwäscher • Kann Nebel behandeln. • Relativ geringe Rezirkulationsrate für Wasser. • Reinigungsleistung ist variabel.	Wirbelwäsche • Hohes Potenzial für Korrosionsprobleme.
Venturi-Wäscher • Kann Nebel behandeln. • Relativ geringe Wartung. • Einfache Bauart und einfach zu installieren. • Abscheideleistung ist variabel. • Entfernt auch reaktive Gasverunreinigungen. • Frei von Verblockungen.	Venturi-Wäscher • Hohes Potenzial für Korrosionsprobleme. • Relativ hoher Druckabfall, daher viel Energie erforderlich. Lärm kann ein Problem sein, da die Gasgeschwindigkeit an der Venturi-Kehle hoch ist. • Begrenzt für Staub und Gase mit hoher Löslichkeit.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Die Leistung der Waschverfahren ist stark von der Größe der abzuscheidenden Teilchen und Aerosole abhängig. Die Wirkungsgrade sind in der Tabelle 3.17 aufgeführt.

Medienübergreifende Wirkungen

Die Verbrauchsstoffe sind in der Tabelle 3.17 aufgeführt.

Die nasse Staubentfernung erfordert eine nachgeschaltete Anlage zur Abtrennung der Suspension.

Abhängig von der Quelle, kann der abgeschiedene Staub kontaminiert sein - z. B. könnte der Staub aus der Verbrennung Dioxine und/oder Schwermetalle bzw. deren Oxide enthalten. Diese Staubart könnte als gefährlicher Abfall klassifiziert werden, der entsprechend zu entsorgen ist.

Parameter	Wirkungsgrade [%]					
	Faserpackung	Wanderbett	Platte	Sprühturm	Wirbelwäscher	Venturi
Teilchengröße	70->99 [1]		50–99 [2]	70->99 [3]	80–99 [4]	70->99 [5,7]
VOC	70->99 (Nebel) [1]			50–95 [3]		
SO_2			80->99 [2]	80->99 [3]		
HCl						90 [7]
HF						90 [7]
NH_3				94-99 [8]		94-99 [8]
Verbrauchsstoff	**Menge der Verbrauchsstoffe**					
Waschwasser [l/Nm^3]				>3 [3]		0.5–5 [6]
Energie [kWh/1000 Nm^3]					1–2 [6]	<0,5–6 [6,7]
Druckabfall [kPa]					1,5–2,8 [6]	2,5–20 [6,7]
Kostenart	**Kosten**					
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 600-1800 [1]		USD 1300-7000 [2]	USD 500-2200 [3]	USD 2800-10000 [4]	USD 1900-17000 [5]
						EUR 5000 [a,7]
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 1000-21100 [1]		USD 1500-41100 [2]	USD 800-28100 [3]	USD 2200-42000 [4]	USD 2400-70000 [5]
						b
Kosteneffizienz [pro Tonne Schadstoff]	USD 40-710 [1]		USD 51-1300 [2]	USD 28-940 [3]	USD 88-1400 [4]	USD 84-2300 [5]

[a] bei 10000 Nm^3/h, scale-up Faktor hoch 0,3
[b] EUR [2500 + 100 x (Kapitalfluss/1000)]
[1] [cww/tm/110]
[2] [cww/tm/111]
[3] [cww/tm/114]
[4] [cww/tm/112]
[5] [cww/tm/115]
[6] [cww/tm/132]
[7] [cww/tm/70]
[8] [cww/tm/138] Düngemittelindustrie, Phosphorsäure als Waschflüssigkeit

Tabelle 3.17: Leistungen, Verbrauchsstoffe und Kosten von verschiedenen nassen Staubwäschern

Wäscher sind Lärmquellen und müssen entsprechend behandelt werden, z. B. indem sie eingehaust werden.

Überwachung [cww/tm/70]
Für die Beurteilung der Leistung eines Elektrofilters kann der Massenaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Gas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenstoß. Der Druckabfall über dem Wäscher, die Flüssigkeitsströmung und der Einspeisedruck müssen routinemäßig überwacht werden. Das Flüssigkeits-/Gas-Verhältnis, die Menge des Flüssigkeitsverlustes und der pH bedürfen der regelmäßigen Kontrolle. Nasswäscher sollten regelmäßig kontrolliert werden, um jede Verschlechterung in der Anlage, wie Korrosion oder Blockierungen, zu identifizieren. Es sollte ein direkter Zugang zum Wäscher vorhanden sein.

Ökonomische Daten
Die Kostenbereiche für Nasswäscher sind in Tabelle 3.17 aufgeführt. Die geschätzten Kosten basieren auf einer angenommenen Teilchenrohfracht von ca. 7 g/Nm^3. Für Anwendungen, die teure Materialien, Lösemittel oder Behandlungsarten erfordern, können die tatsächlichen Kosten wesentlich höher sein als die dargestellten Bereiche. In der Regel werden kleinere Anlagen für niedrig konzentrierte Abgasströme viel teurer sein (pro Einheit Durchflussmenge) als große Anlagen, die hochbeladene Ströme behandeln.

3.5.3.5 Gewebefilter

Beschreibung
In einem Gewebefilter durchströmt das Abgas ein fest gewebtes oder verfilztes Gewebe, wobei der Staub auf dem Gewebe aufgrund der Siebwirkung oder anderer Mechanismen abgetrennt wird. Gewebefilter können die Form von Tüchern, Patronen oder Taschen/Schläuche (der häufigste Typ) haben, wobei mehrere Gewebefiltereinheiten in einer Gruppe als Einheit zusammengefasst werden. Der sich auf dem Filter bildende Staubkuchen kann den Abscheidegrad deutlich erhöhen.

Die Betriebsbedingungen sind die ausschlaggebenden Faktoren für die Gewebeauswahl. Einige allgemein verwendete Gewebe werden in Tabelle 3.18 gezeigt.

Bezeichnung der Gewebe	Chemische Widerstandsfähigkeit gegenüber		Kontinuierliche Betriebstemperatur in feuchter Hitze [°C]	Kontinuierliche Betriebstemperatur [°C]	Maximale Spitzentemp. [°C]	Material unterstützt Verbrennung
	Säuren	Laugen				
Polyester	gut	günstig	94	132	150	ja
Copolymeres Acryl	gut	günstig	110	120	130	nein
m-Aramid	gut	gut	177	200	240	nein
Polyphenylensulphid	hervorragend	hervorragend	190	190	232	nein
Ethylenchlortrifluoroethen	hervorragend	hervorragend	177	177	190	nein
Polytetrafluorethen	hervorragend	hervorragend	260	260	290	nein
Polyimid	gut	gut	240	260	280	nein
Glas	sehr gut	günstig	260	260	290	nein
Edelstahl	gut	hervorragend	550	550	600	nein
Keramik	sehr gut	gut	760	760	1204	nein

Tabelle 3.18: Allgemein verwendete Gewebe

Die praktische Anwendung der Gewebefilter erfordert eine große Filterfläche, um den unerwünschten Druckabfall über dem Gewebe zu vermeiden. Ein übermäßiger Druckabfall kann den Ausfall des Filters verursachen, da unkontrolliert Staub durch die Filterabdichtungen dringen kann. Das Filtergehäuse einer Filtereinheit wird von der Wahl des Verhältnisses der Größe des Luftvolumenstromes zur Filterfläche bestimmt (a/c-Verhältnis). Die

Auswahl des a/c-Verhältnisses hängt von der Teilchenbeladung, der Teilchencharakteristik und der verwendeten Reinigungsmethoden ab. Eine hohe Teilchenbeladung erfordert die Verwendung eines großen Filtergehäuses, um die Bildung eines zu starken Staubkuchens zu vermeiden, der zu einem übermäßigen Druckabfall führen würde.

Die Intensität und die Häufigkeit der Reinigung sind wichtige Variablen bei der Bestimmung der Reinigungsleistung. Da der Staubkuchen einen wesentlichen Anteil an der Rückhaltefähigkeit eines Gewebes für Feinstaub haben kann, führt eine zu häufige oder zu intensive Reinigung zu einer geringeren Reinigungsleistung. Wenn die Reinigung zu selten oder nicht ausreichend erfolgt, führt dies zu einem zu hohen Druckverlust.

Übliche Gewebefilter werden entsprechend ihrer Reinigungsart eingeteilt:

- **Mittels Rückblasen gereinigte Gewebefilter (oder reverse-jet);** hier wird ein sanfter aber manchmal weniger effektiver Reinigungsvorgang benutzt als bei dem mechanischen Rütteln. Normalerweise sind die Schläuche am Boden offen und am Kopfteil geschlossen und der Staub wird auf der Innen- oder Außenseite der Schläuche zurückgehalten. Um den Filter zu reinigen, wird er abgeschaltet und die Reinigungsluft wird in entgegengesetzte Richtung geblasen. Der Staubkuchen fällt ab und gelangt in den Sammelbehälter. Der typische Reinigungsvorgang dauert ungefähr < 5 Minuten pro Einheit. Das Rückblasen wird nur in den Fällen allein vorgenommen, wenn der Staub leicht vom Gewebe entfernt werden kann. In vielen Fällen wird diese Methode gemeinsam mit Schütteln, Pulsieren oder mit Schallhörnern vorgenommen.

- Mittels **mechanischem Rütteln gereinigter Gewebefilter;** wird ein einfacher und wirkungsvoller Reinigungsmechanismus genutzt. Das Abgas tritt durch ein Einströmrohr ein, das mit einem Leitblech ausgerüstet ist. Hier werden große Teilchen entfernt, wenn sie auf die Blechplatte stoßen und fallen dann in den Sammelbehälter. Das beladene Gas strömt vom unteren Teil der Platte in die Filterschläuche und durchströmt diese von innen nach außen, wobei die Teilchen auf der Innenseite der Oberfläche des Filterschlauchs abgeschieden werden. Die oberen Enden der Schläuche sind an einer Rüttelschiene befestigt, die sich schnell bewegt und damit die Schläuche reinigt.

- **Mittels Druckluftstoß gereinigter Gewebefilter;** hier wird eine relative neue Methode verwendet, womit man hohe Frachten bei konstantem Druckabfall behandeln kann und weniger Platz als bei anderen Filterarten erforderlich ist. Sie können nur als externe Staubsammeleinheiten betrieben werden. Die Schläuche sind am Boden geschlossen und am Kopf offen und werden im Innern mittels Stützeinrichtungen gestützt. Das beladene Gas durchströmt die Schläuche von außen nach innen, wobei ein Zerstäuber verwendet wird, der die Zerstörung der Schläuche durch übergroße Teilchen verhindert. Die Teilchen werden außerhalb der Schläuche gesammelt und fallen in den Sammelbehälter. Die Reinigung mittels Druckluftstoß bedeutet, dass ein kurzer Druckluftstoß (0,03-0,1 Sekunden mit 0,4–0,8 MPa) in die Schläuche geleitet wird. Diese Verfahrensweise gewährleistet, dass der Abgasstrom während der Reinigung nicht unterbrochen werden muss. Bei diesen Filtern wird verfilztes Gewebe verwendet, da sie keinen Staubkuchen erfordern, um eine hohe Abscheideleistung zu erreichen. Es wurde festgestellt, dass gewebtes Filtermaterial nach der Druckluft-Stoßreinigung eine große Staubmenge durchlässt, wenn sie zusammen mit den Gewebefiltern mittels Druckluftstößen verwendet wird.

Bei Filter, die mittels Rütteln oder Rückblasen gereinigt werden, werden zur Erhöhung der Abscheideleistung zunehmend Schallhörner verwendet. Sie werden mit Pressluft (0,3-0,6 MPa) betrieben. Die Reinigung mittels Schallhörnern verringert deutlich die Restfracht auf den Schläuchen und verkleinert den Druckabfall über dem Filtergewebe um 20-60% als auch die mechanische Beanspruchung der Schläuche, was zu einer längeren Standzeit führt.

Die Korrosion des Filters und des Filtergehäuses kann problematisch sein, wenn der Gasstrom saure Verbindungen enthält, speziell bei Temperaturen unterhalb des Taupunktes. Geeignete Gewebefilter sind aus Tabelle 3.18 ersichtlich.

Andere nahe verwandte Gewebefilter sind:

- **Kompaktfilter**, auch bekannt als Kassettenfilter oder Taschenfilter, sind eine Art Gewebefilter. Der Unterschied besteht in der Art und Weise, wie kompakt das Filtermaterial ist. Es wird wie bei einer Ziehharmonika gefaltet, um eine weitaus größere Filteroberfläche zu erhalten. Die Raumeinsparung wird jedoch teilweise aufgrund der geringeren Gewebefracht dieser Filterart aufgehoben.
- **Verbesserter Kompaktfilter**, auch bekannt als Sintamatic, Sinterlamellenfilter oder Spirot-Rohr, ist eine andere Version des Gewebefilters. Er besteht aus porösem gesinterten Material mit gefalteten Filterelementen, der eine größere Standzeit besitzt und damit die Instandhaltungskosten verringert.

Die Gastemperatur muss bei jedem Bauteil über dem Taupunkt liegen, weil sonst das Filtergewebe blockiert wird und der Filtrationsprozess aufhört. Um dies zu vermeiden, könnte die Filtereinheit isoliert und möglicherweise beheizt werden.

Systeme mit einem erhöhten Risiko, wie Explosion und Feuer, müssen mit Sicherheitsvorrichtungen wie Explosionsluke oder Berieselungsanlage ausgerüstet sein. Auf der Einlassseite des Filters sollte eine Explosionsentlastung vorhanden sein, die in Richtung eines sicheren Bereiches öffnet, z. B. außerhalb des Gebäudes. Eine Auffangvorrichtung für sehr heiße Teilchen, die von Kesseln oder Brenner herrühren, kann erforderlich sein, um Feuer und damit die Zerstörung des Gewebes zu vermeiden. Es dürfen keine Funken oder Flammen eindringen.

Anwendung

In erster Linie wird der Gewebefilter genutzt, um partikelförmige Stoffe bis hin zu <$PM_{2,5}$ und gefährliche Luftschadstoffe in Partikelform (PM_{HAP}), wie Metalle (Ausnahme Quecksilber) zu entfernen. In Verbindung mit Einspritzsystemen (einschließlich Adsorption, trockene Kalk/Natriumbikarbonat-Einspritzung und halbtrockene Kalkeinspritzung) vor dem Filtergehäuse, kann der Filter auch für die Entfernung spezifischer Gasverunreinigungen angewandt werden.

Gewebefilter sind nützlich, um partikelförmiges Material zu sammeln, das einen elektrischen Widerstand hat, der entweder für Elektrofilter zu hoch oder zu niedrig ist. Daher sind sie geeignet, um Flugasche von schwefelarmer Kohle oder Flugasche mit einem hohen Anteil unverbrannten Kohlenstoffs abzutrennen. Es wurde herausgefunden, dass beim Einbau einer zusätzlichen Filtereinheit nach einem Elektrofilter sehr niedrige Teilchenemissionen erreicht werden.

Wenn die Abgasfracht aus relativ großen Teilchen besteht, können vorgeschaltete mechanische Abscheider wie Zyklone, Elektrofilter oder Sprühkühler verwendet werden, um die Belastung des Gewebefilters zu verringern, besonders bei hohen Rohgaskonzentrationen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen/Beschränkungen
Typischer Abgasstrom [Nm^3/h]	300–1800000 [1]
Temperatur [°C]	siehe Tabelle 3.18 oberhalb des Taupunktes von kondensierbaren Stoffen im Gasstrom, sonst keine Filterwirkung<70 (verbesserter Kompaktfilter) [2]
Druck	Bereich –6,4 bis +6,4 kPa vom Atmosphärendrucks [1]
Staubgehalt [g/Nm^3]	1–23 (typisch) [1] 0,1–230 [1]
Teilcheneigenschaften	Klebrige Stäube sind von den Schläuchen schwer zu entfernen, daher sind sie zu vermeiden
a/c Verhältnis [a] [m/min]	≤1 [3] (Rückblasen)
	<0,5 [3] (mechanisches Rütteln)
	1–1,5 (2.0) [3 b] (Druckluftstoß)

[a] empfohlen für einen sicheren Betrieb (siehe oben)
[b] höherer Wert für spezielle Anordnungen
[1] [cww/tm/123]
[2] [cww/tm/70]
[3] persönliche Information

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Im Allgemeinen haben Gewebefilter für grobe Teilchen und Feinstaub eine hohe Abscheideleistung. • Leistung und Druckabfall von kontinuierlich gereinigten Filtern werden bei großen Änderungen der Rohfrachten relativ wenig beeinflusst. • Staub wird trocken ohne Verbrauchsmaterial abgetrennt. Der abgetrennte Staub könnte beim vorgelagerten Prozess wieder verwendet werden. • Restemissionen sind von Ausgangskonzentrationen praktisch unabhängig. • Relativ einfacher Betrieb.	• Keine nassen oder klebrigen Stäube als Input erlaubt. • Statische Aufladung kann die Ablösung des Filterkuchens vom Gewebefilter behindern. • Es gibt ein Explosionsrisiko. • Feuer im Filtergehäuse ist möglich, wenn sehr heiße Teilchen aus Öfen freigesetzt werden oder bei brennbarem Material.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Bei einer vorgegebenen Filterart und Staub, ist die Teilchenkonzentration am Auslass des Gewebefilters nahezu konstant. Die Gesamtleistung ist eher von der Partikelfracht abhängig. Gewebefilter können daher eher als Einheiten mit einem konstanten Ausstoß betrachtet werden, als solche mit einer konstanten Leistung.

Parameter	Gewebefilter		Kompakter Filter		Verbesserter Kompaktfilter	
	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]
Teilchen (PM)	99-99,9 [1]	2-10 [1] 1 [a 2]		1-10 [2]		<1 [2]

[a] Keramikfilter
[1] [cww/tm/123]
[2] [cww/tm/70]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Gewebefilter [m^2 pro 1000 Nm^3/h]	11-17	a/c Verhältnis 1–1,5 m/min
Vorbeschichtetes Material (optional)		Für klebrigen oder elektrostat. Staub oder als Gewebeschutz
Druckluft [pro 1000] [a] für 0,3-0,6 MPa (Schallhorn) für 0,4-0,8 MPa (Druckstoß)	2–2,5 [1]	Filterreinigung
Energie [kWh/1000 Nm^3]	0,2–1,2 [2] 0,5–2,0	
Druckabfall [kPa]	0,5–2,5 [2]	Gewebefilter
	0,5–1,8 [1]	Kompaktfilter und verbesserter Kompaktfilter
	5–50	Keramikfilter

[a] Nm^3/h Druckluft pro 1000 Nm^3/h Gas
[1] [cww/tm/70]
[2] [cww/tm/64]

Der abgetrennte Staub, möglicherweise mit vorbeschichtetem Material vermischt, ist der einzige Rückstand. Seine Menge hängt vom Staubgehalt des Rohgases ab. Abhängig von der Quelle, kann der abgeschiedene Staub kontaminiert sein - z. B. könnte der Staub Dioxine und/oder Schwermetalls oder deren Oxide enthalten, die aus der Verbrennung stammen. Diese Staubart könnte als gefährlicher Abfall klassifiziert werden, der entsprechend zu entsorgen ist.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung und die Wartung sind sorgfältig zu überwachen. Für die Beurteilung der Leistung eines Gewebefilters kann der Masseaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Gas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, triboelektrischer Strom, Beta-Strahlen oder Teilchenstoß.

Die Temperatur und der Druckabfall über dem Gewebefilter müssen routinemäßig überwacht werden. Der letztere wird genutzt, um den erforderlichen Reinigungsprozess einzuleiten. Gewebefilter sind regelmäßig zu überprüfen, um etwaige Unregelmäßigkeiten des Gewebes oder des Gehäuses festzustellen. Daher sollte ein Zugang zum Filter möglich sein. Jede Filtereinheit sollte mit einem Nachweissystem für Schlauch-Leckagen einschließlich einem Alarmsystem ausgerüstet sein.

Ökonomische Daten

Die Standzeit des Filtermaterials beträgt bei Gewebefilter und Kompaktfilter etwa 5 Jahre und für verbesserte Kompaktfilter 8 Jahre.

Kostenart	Kosten				
	Rückblasen	Mechan. Rütteln	Druckluftstoß	Kompakt	Verbesserter Kompakt
Kapital [pro 1000 Nm^3/h]	USD 5300-50000 [1] EUR 30000-55000 [c] [4]	USD 4500-42000 [2]	USD 3700-15000 [3]	EUR 1000-4000 [4]	EUR 2500-4000 [4]
Plus Schallhorn	USD 300-400 [1]	USD 300-400 [2]	--		
Plus Ausrüstung für Rückblasen	USD 600-1200 [1]	--	--		
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 4000-16000 [1] d [4]	USD 2600-14000 [2]	USD 3200-14000 [3]	a [4]	b [4]
Kosteneffektivität [pro Tonne Schadstoff]	USD 58-372 [1]	USD 41-334 [2]	USD 46-293 [3]		

a EUR 2500 + 300 x Kapitalfluß/1000
b EUR 350 + 240 x Kapitalfluß/1000
[c] Keramikfilter
d 350 + 300 x Kapitalfluß/1000
[1] [cww/tm/123]
[2] [cww/tm/121]
[3] [cww/tm/122]
[4] [cww/tm/70]

Die Kostenabschätzungen basieren auf einer konventionellen Bauart unter normalen Betriebsbedingungen und beinhalten keine Zusatzeinrichtungen wie Gebläse und Rohrsysteme. Die Kosten werden in erster Linie vom Volumenstrom und der Schadstofffracht des Abgases bestimmt. Im Allgemeinen wird eine kleine Anlage zur Behandlung einer geringen Schadstofffracht nicht so kosteneffektiv sein wie eine große Anlage, die eine große Schadstofffracht behandelt. Die Kosten sind für Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 3500 und 1700000 Nm^3/h bzw. für eine spezifische Fracht von 9 g/Nm^3 dargestellt.

Die Anlagekosten steigen, wenn die Schadstoffe besonders stark abzureichern sind oder einen Gewebeschlauchfilter erfordern oder wenn die Anlagenteile aus speziellem Konstruktionsmaterial hergestellt werden müssen.

3.5.3.6 Katalytische Filtration

Beschreibung

Die katalytische Filtration ist die Elimination gasförmiger Komponenten, verbunden mit der Staubabtrennung. Sie ist mit dem Betrieb von Gewebefiltern vergleichbar (siehe Abschnitt 3.5.3.5). Der Unterschied besteht bei den Filtermaterialien. Der katalytische Filter ist mit einem Katalysator beladen (Titan/Vanadium-System), der die Schadstoffe mittels katalytischer Gasreaktion zerstört. Der abgetrennte Staub wird entfernt und gesondert entsorgt.

Der katalytische Filter besteht aus einer expandierten Polytetrafluorethen (ePTFE)-Membran, die zu einem Filzsubstrat laminiert ist. Der Katalysator ist in dem Filzsubstrat eingebaut. Er ist als Modul in einem Filtergehäuse installiert - siehe Abbildung 3.82 [cww/tm/85] -, das leicht in eine bestehende Anlage eingebaut werden kann.

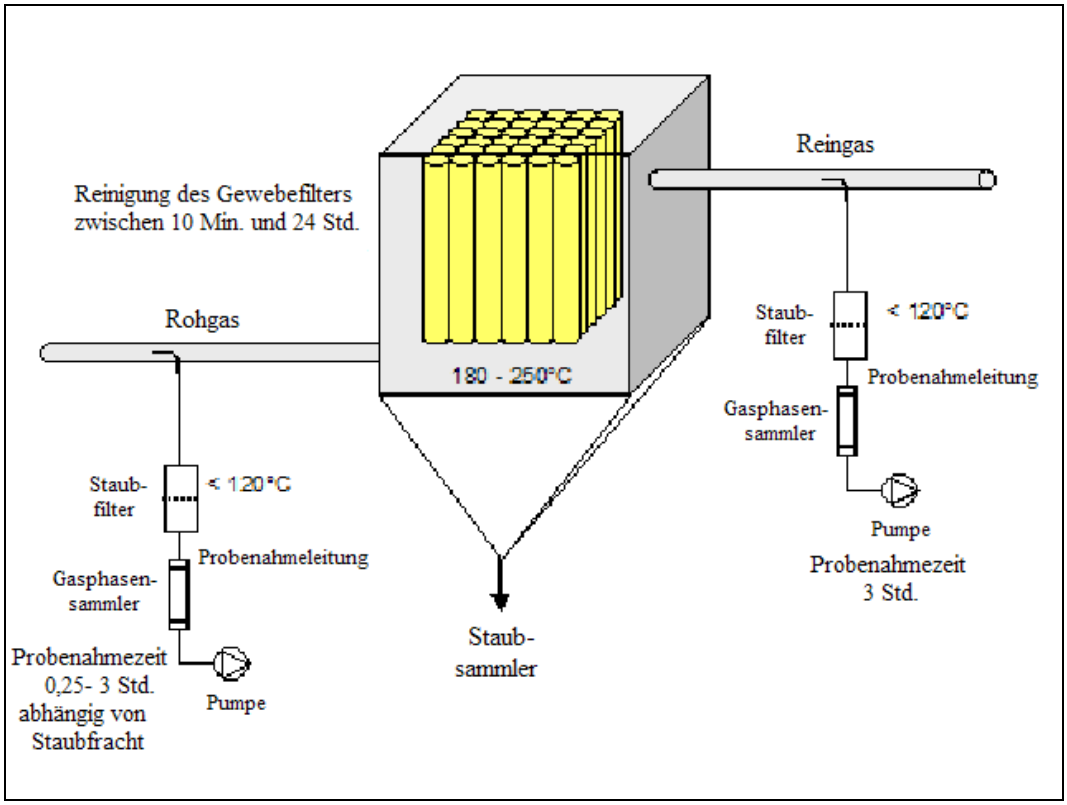

Abbildung 3.82: Katalytisches Filtergehäuse, einschließlich Probenahme

Anwendung

Die katalytische Filtration wird verwendet, um Staub abzutrennen und gefährliche Stoffe aus der Gasphase zu eliminieren. Diese Technologie wird hauptsächlich für Dioxine und Furane (PCDD und PCDF) angewandt. Es können aber auch andere Verunreinigungen wie Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Benzene (PCBz), Polychlorierte Biphenyle (PCB), VOCs und chlorierte Phenole (PCP) eliminiert werden.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen sind:

	Grenzen / Beschränkungen
Empfohlener kontinuierlicher Betriebstemperaturbereich	160–260 °C [a]
Ammoniak-Gehalt	<200 ppm
Schwefeldioxid-Gehalt	<50 ppm
Feuchtigkeit	5–35 %
Filtrationsgeschwindigkeit	48–84 m/h
Kritische Substanzen	Deaktivierung durch Arsen, Natrium, Calcium, Schwefel

[a] Die obere Grenze des Temperaturbereiches wird von der maximalen kontinuierlichen Betriebstemperatur des Filtermediums bestimmt (260 °C). Die empfohlene maximale Betriebstemperatur beträgt 250 °C, um Überschreitungen der Temperaturspitze zu vermeiden. Die untere Grenze des Temperaturbereichs wird von der Temperatur bestimmt, bei der Dioxine und Furane adäquat zerstört werden. Erfolgreiche Tests wurden bei Temperaturen bis hinab zu 155 °C durchgeführt.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Zerstörung gefährlicher gasförmiger Verbindungen ohne verunreinigte Rückstände. • Verringerung der Emission der gefährlichen Verunreinigungen in die Umwelt. • Leicht nachrüstbar. • Keine zusätzlichen Betriebs- und Wartungskosten. • Kein zusätzlicher fester Abfall, der zu entsorgen ist. • Keine Änderung der üblichen Betriebsweisen. • Vergleichbare Kosten wie bei Verwendung von Aktivkohlepulver.	• Begrenzt auf maximale kontinuierliche Betriebstemperatur von 260 ºC • Obwohl der Filter allgemein Organika und speziell Dioxine und Furane bei allen Temperaturen entfernt, wird eine kontinuierliche Betriebstemperatur von mindestens 155 °C für die ausreichende Zerstörung der Dioxine und Furane empfohlen. Bei geringeren Temperaturen werden diese auf dem Katalysator adsorbiert.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert	Bemerkungen
Staub		<1 mg/Nm^3 [1]	typisch
PCDD/PCDF (TEQ)	>99 [a,1]	<0,004-0,040 ng/Nm^3 [1]	Abfallverbrennungsanlagen
		<0,075 ng/Nm^3 [1]	

[a] bis zu 99,8 % beobachtet
[1] Information des Herstellers

Medienübergreifende Wirkungen

Der abgetrennte Staub – Flugasche möglicherweise mit Sorptionsmittel für saure Gase vermischt – ist der einzige zu entsorgende Rückstand. Im Vergleich zu Aktivkohle enthält der abgetrennte Staub bis zu 90 % weniger Dioxine und Furane. Der Staub wird normalerweise als nicht gefährlicher Abfall eingestuft.

Die wesentlichen Betriebsmittel und Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkung
Filtermaterial		Standzeit des Filters und Katalysators etwa 5 Jahre oder sogar mehr
Katalysator		
Energie [kWh/1000 Nm^3]		
Druckabfall [kPa]		

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung und die Wartung sind sorgfältig zu überwachen. Für die Beurteilung der Leistung des Filters kann der Masseaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Gas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenstoß. Die Aktivität des Katalysators kann überwacht werden, indem ein Einzelfilter aus dem Filtergehäuse entnommen und getestet wird. Wenn der Verdacht einer Verringerung der katalytischen Aktivität besteht, kann die Überwachung der Dioxine und Furane mittels Probenahme über dem Kamin durchgeführt werden.

Die Temperatur und der Druckabfall über dem Schlauchfilter müssen regelmäßig überwacht werden. Letzteres wird verwendet, um den notwendigen Reinigungszyklus zu starten. Die Schlauchfilter sind regelmäßig zu überprüfen, um einen Verschleiß des Filtergehäuses oder der Filter selbst festzustellen. Daher sollte ein Zugang zum Filter möglich sein.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]		
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h Kapazität]		

3.5.3.7 Zweistufiger Staubfilter

Beschreibung

Der zweistufige Staubfilter besitzt als Filtermaterial eine Metallgaze. Im ersten Filtrationsschritt wird ein Filterkuchen aufgebaut und die eigentliche Filtration findet in dem zweiten Schritt statt. Je nach Druckabfall über dem Filter wird die zweite Stufe gereinigt und das System schaltet zwischen den beiden Stufen um (die erste Stufe wird die zweite Stufe und umgekehrt). Zur Entfernung des Filterstaubs ist im System ein Mechanismus integriert. Der Staub fällt nach unten in den Sammelbehälter, wo er entfernt werden muss. Ein Beispiel wird in Abbildung 3.83 [cww/tm/70] gezeigt.

Da Metallgaze eine größere Beladekapazität als ein Gewebefilter hat, ist eine geringere Filterfläche erforderlich (d. h. weniger Filtermaterial). Dieser Vorteil wird jedoch normalerweise durch das zweistufige System aufgehoben.

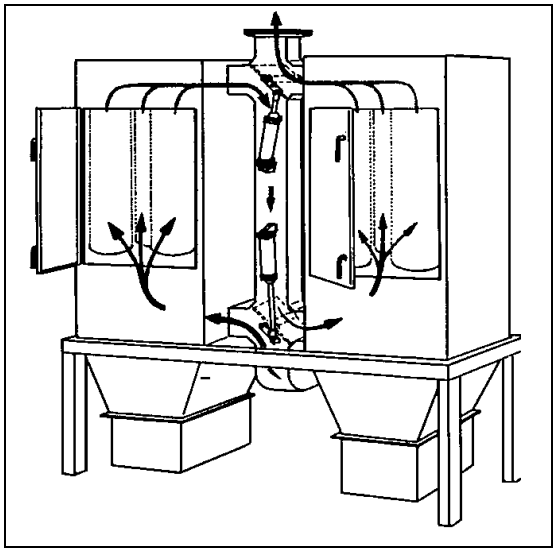

Abbildung 3.83: Zweistufiger Staubfilter

Eine spezielle Variante ist der Metallmaschenfilter, der mit einem Wiederaufbauprozess des Filterkuchens gekoppelt ist, siehe Abbildung 3.84 [cww/tm/168]. Dieser Filter ist so konstruiert, dass der Verlust der Filterleistung nach der Reinigung überwunden wird, indem wieder ein Basis-Filterkuchen aufgebaut wird, bevor das gereinigte Element erneut in den Gasstrom gebracht wird. Im normalen Betrieb arbeitet der Filter mit einem Teil der Filterkammern, die anderen befinden sich im Stand-by-Betrieb (in dem Beispiel arbeiten drei Kammern und die vierte befindet sich im Stand-by-Status). Die Filtration wird fortgeführt, bis ein Reinigungszyklus angezeigt wird. Dann werden die zuvor gereinigten und mit dem Basiskuchen versehenen Stand-by-Kammern zugeschaltet. Die zu reinigenden Kammern werden abgeschaltet und zwecks Stoßreinigung abgekoppelt, der Staub wird in dem darunter befindlichen Staubsammelbehälter gesammelt. Wenn der Reinigungsprozess beendet ist, wird das staubhaltige Gas über den gereinigten Filter im Kreislauf geführt, ohne dass es zum Ausgang gelangt. Dieser Modus gestattet den Wiederaufbau eines vollen Filterkuchens auf dem gereinigten Filter, während die anderen Kammern als Auffangfilter zur Behandlung von Leckagen genutzt werden. Wenn der Wiederaufbau vollständig ist, werden die Kammern in den Stand-by Modus geschaltet, um die nächsten zu ersetzen, die gereinigt werden müssen.

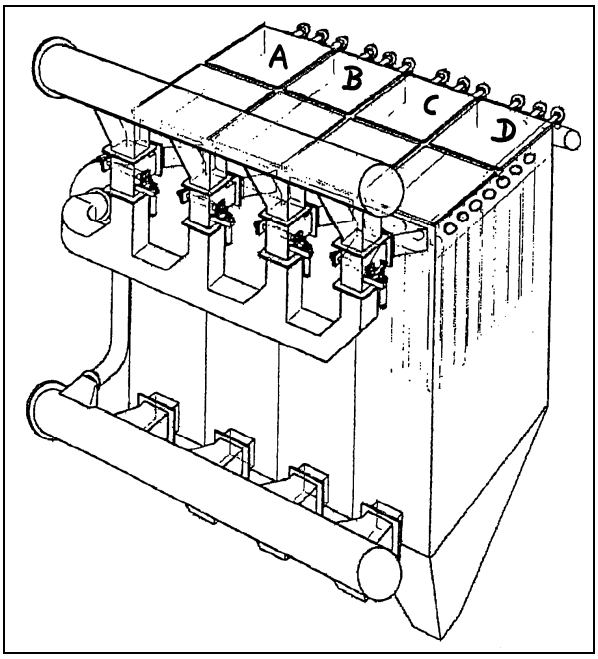

Abbildung 3.84: Metallgaze Filter mit Wiederaufbau des Filterkuchens

Systeme mit erhöhtem Risiko, wie Explosion und Feuer, sind mit Sicherheitseinrichtungen wie Explosionsluke oder Sprinklersystem auszurüsten.

Anwendung

In erster Linie wird der zweistufige Staubfilter verwendet, um Schwebstoffe zu entfernen. In Kombination mit Einspritzsystemen (einschließlich Adsorption, halbtrockene Kalkeinspritzung) kann er auch verwendet werden, um spezifische gasförmige Verunreinigungen zu entfernen.

	Grenzen / Beschränkungen
Typischer Gasstrom [Nm^3/h]	Bis zu 75000 pro Modul [1]
Temperatur [°C]	Bis zu etwa 500
Druck	atmosphärisch [1]
Staubgehalt [g/Nm^3]	Keine Begrenzungen
[1] [cww/tm/70]	

Vorteile/Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Hohe Leistung für Staub. • Die Rückgewinnung von Feststoffen ist möglich. • Entlüftungsluft ist als Eingangsluft wieder verwendbar. • Modulare Struktur. • Kein zusätzliches Filtermaterial; es wird ausschließlich Stahl verwendet. • Filterbeladung ist höher als bei Gewebefilter oder Kompaktfilter. • Auch für feuchten, klebrigen, faserförmigen oder elektrostatischen Staub geeignet. • Widerstandsfähig gegenüber Feuer. • Ermöglicht Wärmerückgewinnung (falls bei hohen Temperaturen betrieben).	• Im Vergleich zum Gewebe- oder Kompaktfilter höhere Kosten, wenn bei Umgebungstemperatur angewendet. Nicht für Hochtemperatur-Anwendungen verfügbar. • Häufige Umschaltung zwischen zwei Bauteilen (Zweistufenfilter). • Ventilüberwachung bei staubender Umgebung erforderlich. • Es gibt ein Explosionsrisiko.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Die Staubemission eines zweistufigen Staubfilters mit Metallgaze als Filtermedium ist praktisch unabhängig von der Rohfracht.

Parameter	Emissionswert [mg/Nm^3]	Bemerkungen
PM	≈ 1 [1]	Praktisch unabhängig vom Rohgas
[1] [cww/tm/70]		

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Filtermaterial (Metallgaze oder Metallmaschen)		
Druckluft (0,3–0,7 MPa)		Filterreinigung
Energie [kWh/1000 Nm^3]	1,5 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,5-2,5 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Der abgetrennte Staub ist der einzige Rückstand. Seine Menge hängt vom Staubgehalt des einströmenden Gases ab. Abhängig von der Quelle kann der abgetrennte Staub verunreinigt sein, beispielsweise kann Staub aus der Verbrennung Dioxine und/oder Schwermetalle und ihre Oxide enthalten. Diese Staubart könnte als gefährlicher Abfall klassifiziert werden, der entsprechend zu entsorgen ist.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung und die Wartung sind sorgfältig zu überwachen. Für die Beurteilung der Leistung des zweistufigen Filters kann der Masseaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Abgas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenstoß.

Die Temperatur und der Druckabfall über dem Filter müssen regelmäßig überwacht werden. Letzteres wird verwendet, um den notwendigen Reinigungszyklus zu starten. Die Gewebefilter sind regelmäßig zu überprüfen, um einen Verschleiß des Filtergehäuses oder der Filter selbst festzustellen. Daher sollte ein Zugang zum Filter möglich sein.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 30000 [1]	Basiert auf einem System mit 1700 Nm^3/h
Jährliche Betriebskosten	a	
Labor [pro Jahr]	EUR 2000 [1]	Ca. 1,5 h pro Woche
Betriebsmittel [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 350 [1]	
[a] gesamte jährliche Betriebskosten sind EUR 2000 + 350 x Kapitalfluß/1000 [1] [cww/tm/70]		

3.5.3.8 Absolutfilter (HEPA-Filter)[12]

Beschreibung

Das Filtermaterial besteht aus Papier oder Glasfasermatten mit hoher Packungsdichte. Der Abgasstrom durchströmt das Filtermedium, wo der Staub gesammelt wird. Der sich auf dem Filtermedium bildende Kuchen kann die Abscheideleistung erhöhen. Das Filtermedium ist gefaltet, um ein kleines a/c Verhältnis zu gewährleisten (Volumenstrom zur Filteroberfläche).

Die gebräuchlichsten Bauarten sind die Kastenfilterzelle und die zylindrische Filterzelle. In einer Kastenzelle wird das gefaltete Filtermaterial in einem aus Holz oder Metall gebauten formbeständigen, viereckigen Rahmen platziert. Die Luft strömt von der Vorderseite zur Rückseite des Filters. In einer zylindrischen Filterzelle verschließt eine Metallabdeckung das Filtermedium an einem Ende. Die Luft strömt von der Außenseite zur Innenseite des Filters.

Der Filter kann direkt im Rohr oder in einem separaten Gehäuse montiert sein. Grobstaub muss vorgefiltert sein, da HEPA-Filter im Allgemeinen Endkomponenten eines Systems zur Schwebstaubentfernung sind.

Die Anzahl der verwendeten Filterzellen wird in einem speziellen System durch das a/c Verhältnis bestimmt, dessen Auswahl auf der Charakteristik der Teilchenbeladung und auf dem Druckabfall über dem Filtermedium basiert. Die praktische Anwendung der faserigen Filter erfordert, dass große Filteroberflächen benutzt werden, um den Druckabfall über dem Filter zu minimieren. Filtermaterial aus Papier und Vlies haben einen größeren Druckabfall über dem Filter als gewebte Stoffe, die in Gewebefiltern verwendet werden. Aus diesem Grund werden HEPA Filter hauptsächlich bei niedrigeren Luftströmungen und geringerer Teilchenfrachten verwendet. Sobald die Strömungsgeschwindigkeit auf einen unannehmbaren Wert abfällt, muss der Filter ersetzt werden. Sie werden in Allgemeinen nicht gereinigt, weil bei der Reinigung Löcher im Filtermedium entstehen können.

Anwendung

HEPA Filter sind für Submicron- Schwebstoffe zwischen $PM_{0,12}$ and $PM_{0,3}$ als auch für gefährliche Luftschadstoffe in Staubform, wie die meisten Schwermetalle (außer Quecksilber), anwendbar.

HEPA Filter werden am besten da verwendet, wo eine hohe Abtrennleistung für Submicron-Teilchen erforderlich ist, wo toxische und/oder gefährliche Schwebstoffe nicht mit anderen Filtern gereinigt werden können, z. B. mit chemischem oder biologischem Material. Sie werden als Endstufe in einem Abtrennsystem eingebaut, hinter anderen Geräten wie Elektrofilter oder Gewebefilter.

	Grenzen/Beschränkungen
Abgasstrom [Nm^3/h]	100-3600 pro Modul [1,2]
Temperatur [°C]	<200 [2] (kommerzieller HEPA) <530 [2] (Keramik oder Glaspackung) oberhalb des Taupunktes des Abgases
Druck	atmosphärisch [1]
Staubgehalt [g/Nm^3]	1-30 [2] <2 [3]
Relative Luftfeuchte [%]	<95 [2]
[1] [cww/tm/70] [2] [cww/tm/106] [3] [cww/tm/64]	

[12] **H**igh **E**fficiency **P**article **A**ir Filter

HEPA Filter benötigen eine vorgeschaltete Filterstufe, um Grobstaub zu entfernen, wie Zyklone oder Venturi-Wäscher für große PM, Standard-Gewebefilter oder Patronenfilter, um Schwebstoffe >$PM_{2,5}$ herauszufiltern.

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Abtrennung sehr kleiner Fraktionen ist möglich. • Sehr hohe Leistung mit sehr geringen Restemissionen. • Die gereinigte Luft ist sehr sauber und kann in die Anlage zurückgeführt werden. • Modulare Struktur. • Nicht empfindlich für kleine Änderungen des Abgasstromes. • Relativ einfacher Betrieb. • Gewöhnlich keine Korrosionsprobleme.	• Vorsorge wegen Explosionsgefahr. • Hoher Wartungsaufwand und häufiger Filterwechsel erforderlich. • Nicht geeignet für feuchte Umgebung. • Nicht geeignet für hohe Staubfrachten. • Glasfasergewebe ist für alkalische Abgase ungeeignet.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Emissionswert [mg/Nm³]
PM		>0,0001 [1]
$PM_{0,01}$	>99,99 [2]	
$PM_{0,1}$	>99,9999 [2]	
[1] [cww/tm/64] [2] [cww/tm/106]		

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Filtermaterial(z. B. Papier, Glasfaser)		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	<0,1 [1]	
Druckabfall [kPa]	0,05–0,25 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Die beladenen Filterelemente sind als Abfall zu entsorgen. Jedes Modul kann etwa 1 kg Staub absorbieren.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung und die Wartung sind sorgfältig zu überwachen. Für die Beurteilung der Leistung des Absolutfilters kann der Masseaustrag durch Überwachung der Teilchenkonzentration im ausströmenden Abgas bestimmt werden. Hierzu wird eine isokinetische Probenahme oder ein Messgerät verwendet, z. B. UV/sichtbar Absorption, Beta-Strahlen oder Teilchenstoß.

Die Temperatur und der Druckabfall über dem Filter müssen regelmäßig überwacht werden. Wenn der Druckabfall einen Wert erreicht, der den adäquaten Luftstrom verhindert, muss der Filter ersetzt werden und ist zu entsorgen.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	USD 1800-2400 [1]	
Jährliche Betriebskosten	a [2]	anwendungsspezifisch
Jährliche Laborkosten	EUR 2500 [2]	ca. 2 h pro Woche
Jährliche Verbrauchsstoffe [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 60-120 [2]	
a gesamte jährliche Betriebskosten EUR 2500 + 60 x Kapitalfluß/1000 [1] [cww/tm/106] [2] [cww/tm/70]		

3.5.3.9 Hochleistungsfilter (HEAF)

Beschreibung

Der HEAF-Filter ist ein flacher Bettfilter, in dem sich Aerosole zu Tröpfchen vereinen. Hochviskose Tröpfchen verbleiben auf dem Filtergewebe und können möglicherweise den Filter blockieren. Wenn eine festgelegte Druckdifferenz erreicht wird, muss der Gewebefilter durch einen neuen, sauberen Filter ersetzt werden. Dieser kann während des Betriebes ausgetauscht werden, weil das Filtergewebe auf einer Rolle liegt. Das behandelte Abgas verlässt die Behandlungsvorrichtung über einen Nebelabscheider, der mitgerissene viskose Tröpfchen abscheiden muss.

Ein zusätzlicher Tröpfchenabscheider ist für Tröpfchen mit geringer Viskosität eingebaut. Der sekundäre Tröpfchenabscheider kann ein Lamellen-Abscheider (Trägheitsabscheider) oder ein Nebelabscheider sein.

Anwendung

HEAF-Filter werden gewöhnlich für die Entfernung von Aerosolen wie Öl, Weichmacher und kondensierbare VOC´s verwendet.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen
Typischer Gasstrom [Nm^3/h]	Bis zu 25000 [1]
Druck	atmosphärisch [1]
[1] [cww/tm/70]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Kontinuierlicher Prozess. • Für hochviskose Tröpfchen geeignet.	• Hoher Druckabfall.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Bemerkungen
Tröpfchen	99 [1]	
Aerosole	99 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Filtermaterial		
Energie [kWh/1000 Nm^3]	<0,1 [1]	
Druckabfall [kPa]	8 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Zu entsorgende Rückstände sind beladene Filterrollen, die als Tröpfchen, Aerosole und Staub abgeschiedenen Schadstoffe enthalten. Sie sind als chemischer oder gefährlicher Abfall zu entsorgen und werden gewöhnlich der Müllverbrennung zugeführt.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 5700 – 8000 [1]	
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h] jährliche Laborkosten	etwa EUR 3000 [1]	etwa 2,5 h pro Woche
[1] [cww/tm/70]		

3.5.3.10 Nebelabscheider

Beschreibung

Die bekanntesten Nebelabscheider (Nebelvernichter, Entnebler) sind Maschenpakete (Gestricke). Gestricke-Filter bestehen gewöhnlich aus gewebtem oder gefaltetem metallischen oder synthetischen Fasermaterial in zufälliger oder spezifischer Konfiguration und arbeiten als Tiefenbettfilter. Die Filtration findet über der gesamten Filtertiefe statt. Feste Staubpartikel verbleiben bis zur Sättigung im Filter und sind mittels Spülen zu reinigen. Wenn der Nebelabscheider für die Abscheidung von Tröpfchen und/oder Aerosolen verwendet wird, reinigt er sich gewöhnlich über dem Ablauf der Flüssigkeit selbst. Sie arbeiten mit dem mechanischen Aufprall und sind geschwindigkeitsabhängig. Auch Lamellenabscheider werden allgemein als Nebelabscheider verwendet.

Grundlage für die Dimensionierung des Filters sind der Gasstrom, die Endkonzentrationen und die Filterbeladung.

Nebelabscheider sind für die Entfernung spezieller Teilchengrößen gestaltet. Wegen der Verstopfungsgefahr von Hochleistungs-Maschenfilter, ist ein regelmäßiges Reinigen erforderlich. Wenn das Waschen vernachlässigt wird, können sich die Schadstoffe tief im Innern der Filterpakete verfestigen, so dass ein weiteres Waschen uneffektiv wird.

Die meisten Nebelabscheider besitzen Zugangstüren, um den Reinigungsprozess zu erleichtern. Bei der Reinstallation des Filtermediums in den Behälter ist Sorgfalt erforderlich, damit sie richtig dicht sind und keine Spalte zwischen dem Filter und der Behälterwand verbleiben. Wegen des hohen Druckabfalls über dem Maschenpaket können auch kleine Spalte eine Umgehung für den Gasstrom bilden, so dass dieser nicht durch den Filter geleitet wird.

Anwendung

Nebelabscheider werden benutzt, um neblige Schadstoffe wie Tröpfchen und Aerosole zu entfernen. Wenn das Filtermaterial in-situ gereinigt wird, sind sie auch für feste Teilchen anwendbar, falls diese in Flüssigkeiten löslich sind. Wegen Verblockungen sind sie für feste Stäube und fettige Dämpfe weniger geeignet. Sie schützen die Anlagenteile vor festen/flüssigen Staubteilchen, wodurch die Abnutzung und Reibung der Gebläselager und die Gehäuse verhindert werden.

Hocheffektive Nebelabscheider können als Einzelanlagen verwendet werden. Sie sind in zunehmendem Maß eine geeignete Option hinsichtlich der Reinigungsleistung, Wassereinsparung und Wirtschaftlichkeit bei vielen Prozessen, die Nebel wie Schwefelsäure, Nickelverbindungen, Natronlauge, Salpetersäure und Chromverbindungen freisetzen. Mehrstufige Nebelabscheider für die Behandlung von Nebelemissionen wurden mit guten Ergebnissen getestet. Der Grund für die Verwendung dieser Filter besteht darin, dass die meisten Teilchen in der ersten Stufe abgetrennt werden und dadurch die nachfolgenden Stufen geschützt werden, die für die Entfernung von kleineren Teilchen ausgelegt sind. Ein erfolgreicher Weg hierfür ist die drei- oder vierstufige Behandlungseinheit, die eine einfasrige und eine Hohlraumkonfiguration in den ersten Stufen verwendet, die von Stufe zu Stufe hinsichtlich Fadengröße und Hohlraumgröße verringert wird. Jede Stufe wird mit Frischwasser gespült. Es sollten einzelne Abflusskammern verwendet werden, damit das Waschwasser mit der höchsten Schadstoffkonzentration nicht in die nächste Stufe fließt.

Als nachgeschaltete Einrichtungen werden Nebelabscheider häufig als Endbehandlungsstufe von Nasswäschern verwendet, um das Mitschleppen der Waschlösung in das Reingas zu vermeiden, das in die Luft strömt. Ein Nebelabscheider wird am Kolonnenkopf angebracht, um Tröpfchen abzuscheiden, die sich vereinen und in die Kolonne zurückfallen. Die Auslegung des Nebelabscheiders ist kritisch, wenn geringe Schadstoffkonzentrationen (hohe Abscheideleistung) erreicht werden müssen und wenn Lösemittelverluste in den Absorbern, Wäschern oder Destillationseinheiten verringert werden müssen.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen [cww/tm/70]:

	Grenzen/Beschränkungen
Typischer Gasstrom [Nm^3/h]	Bis zu 150000 [1]
Temperatur [°C]	<170 [1]
Staubgehalt [mg/Nm^3]	<1 [1]
Aerosole	einige g/Nm^3 [1]
[1] [cww/tm/70]	

Vorteile und Nachteile

Vorteile	Nachteile
• Selbstreinigende Systeme für die Behandlung von Flüssigkeiten. • Geeignet für die Behandlung flüssiger Aerosole, auch als Einzelanlage.	• Bei der Filterreinigung entsteht eine kontaminierte Waschflüssigkeit. • Hoher Druckabfall mit festen Staubpartikeln. • Risiko zur Verblockung.

Erreichte Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	Leistung [%]	Bemerkungen
Staub	99 [1]	
Aerosole	99 [1]	
[1] [cww/tm/70]		

Kleinere Einzelfasern und dichtere Hohlräume im Filterpaket sind für die Entfernung kleinerer Teilchen (Größen von 1–3 µm) wirksamer, verblocken aber schneller und erfordern mehr Aufmerksamkeit und Wartung. Die wirksamsten Filterpakete haben einen Fadendurchmesser und einen Hohlraumdurchmesser, die groß genug sind, um das Verblockungspotenzial zu minimieren und besitzen außerdem eine angemessene Drainagekapazität. Diese Filterkonfiguration ist im Allgemeinen für Teilchen mit einem Durchmesser von 5–10 µm effektiv.

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	Bemerkungen
Filtermaterial		
Waschflüssigkeit		Zur Reinigung
Energie [kWh/1000 Nm^3]		
Druckabfall [kPa]	2,5 [1]	normal
	9,0 [1]	Große Frachten
[1] [cww/tm/70]		

Rückstände zur Entsorgung sind Waschflüssigkeit mit abfiltrierten Staub und beladenes Filtermaterial. Die Waschflüssigkeit ist entweder zu behandeln oder als Abfall zu entsorgen , z. B. zu verbrennen. Wenn ein Nebelabscheider hinter einem Nasswäscher installiert ist, wird die Waschflüssigkeit normalerweise zum Wäscher zurückgeführt.

Überwachung

Der Druckabfall jeder einzelnen Stufe des Nebelabscheiders muss überwacht werden, z. B. mittels optischer Messung (magnahelic oder photohelic Messung).

Ökonomische Daten

Kostenarten	Kosten	Bemerkungen
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 2300 [1]	Für kleine Anlagen bis zu 2000 Nm^3/h
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm^3/h]	a [1]	
Jährliche Laborkosten	EUR 2500 [1]	etwa 2 h pro Woche
Verbrauchsstoffe [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 250-600	
[a] gesamte jährliche Betriebskosten EUR 2500 + 450 x Kapitalfluß/1000 [1] [cww/tm/70]		

3.5.4 Rückgewinnungs- und Behandlungstechniken für gasförmige Schadstoffe in Abgasen

Schadstoffe im Rauchgas von Hochtemperaturverfahren (thermische und katalytische Oxidation) und chemischen Verfahren sind Teilchen und Gase wie Schwefeldioxid, NO_x, Halogenwasserstoffe und unter speziellen Bedingungen Dioxine. Im Rauchgas vorhandener Staub und NO_x werden beseitigt (siehe Abschnitt 3.5.3 für Staub und 3.5.4.2 für NO_x). Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid können jedoch zurückgewonnen werden. Die Behandlung von Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid erfolgt oft in einem zweistufigen Prozess:

- Nasswäsche mit Wasser (siehe Abschnitt 3.5.1.4) um eine konzentrierte Salzsäure herzustellen
- Verschiedene Entschwefelungsverfahren (siehe Abschnitt 3.5.1.4 und 3.5.4.1) um Gips oder Schwefelsäure herzustellen.

Die allgemeinen Rauchgasbehandlungstechniken in der chemischen Industrie, zusätzlich zur nassen Abgasreinigung (Abschnitt 3.5.1.4 und 3.5.3.4), werden unten beschrieben.

3.5.4.1 Absorptionsmitteleinspritzung als REA-Techniken (FGD[13])

Beschreibung

Das Reaktionsprinzip der Rauchgasentschwefelung (REA) besteht in der Absorptionsmitteleinspritzung in den Abgasstrom und dessen Verteilung im Abgasstrom. Dieses Material reagiert mit SO_x und bildet einen Feststoff, der anschließend aus dem Abgasstrom entfernt werden muss. Die am meisten benutzten Absorptionsmittel sind:

- Kalk,
- Natriumhydrogencarbonat (Natriumbicarbonat),
- Natriumcarbonat (Soda).

Die Wahl des Absorptionsmittels hängt von dessen Verfügbarkeit ab. Es ist in den meisten Fällen ein natürlich vorkommendes Material, wie Kalkstein, Dolomit oder hydratisierte Verbindungen, die von diesen Rohstoffen abgeleitet sind.

Diese Sorptionsmittel sind auch gut für die Entfernung anderer saurer Gase geeignet, besonders für Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff. Wenn die Gase zurückgeführt werden sollen, muss das Abgas vorbehandelt werden (Wasserwäscher, siehe Abschnitt 3.5.1.4).

Es gibt drei Techniken der Absorptionsmitteleinspritzung:

- trockene Absorptionsmitteleinspritzung,
- halbtrockene (oder halbnasse) Einspritzung,
- nasse Einspritzung von Kalkmilch.

Mit der **trockenen Absorptionsmitteleinspritzung** wird das feinpulvrige Absorptionsmittel entweder in den Rauchgasstrom eingespritzt oder dem Reaktionsturm zugeführt. Die letztere Art ist die wirksamste Methode. Wenn das Absorbens in den Gasstrom eingespritzt wird, kann dies an verschiedenen Stellen erfolgen, entsprechend der Temperatur und den Bedingungen, bei denen es am reaktivsten ist. Dies ist in Abbildung 3.85 dargestellt [cww/tm/79].

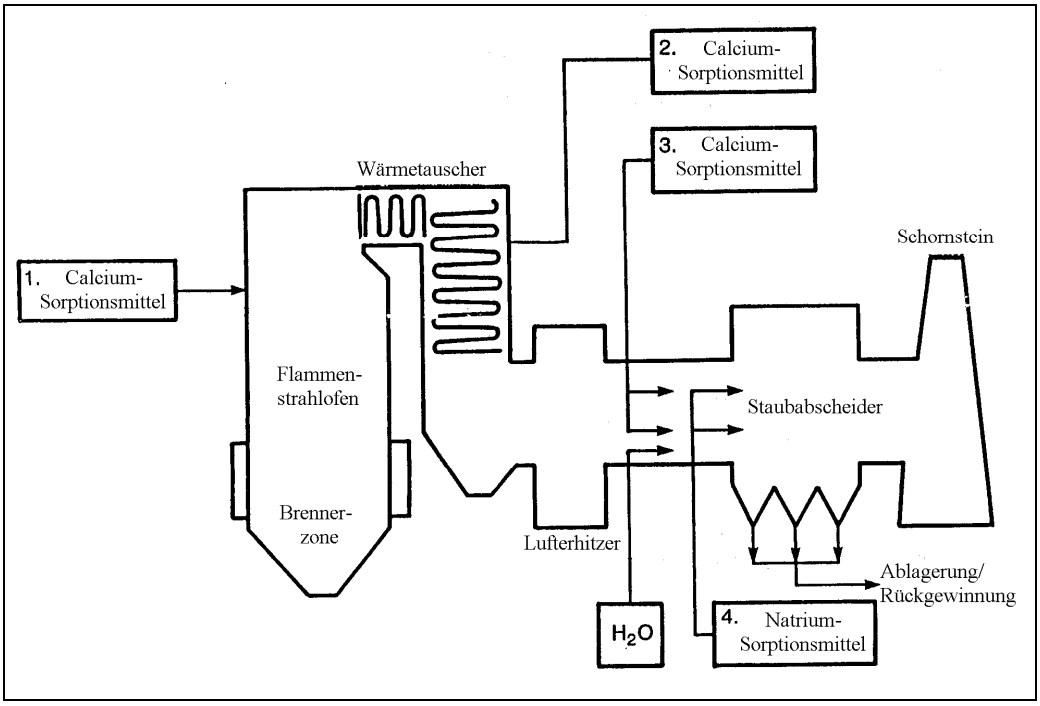

Abbildung 3.85: Trockene Absorptionsmitteleinspritzung für die Schwefeldioxidentfernung (Injektionsstellen)

[13] Flue Gas Desulphurisation

Allgemein verwendete Einspritzstellen und geeignete Absorptionsmittel sind [cww/tm/79]:

- Ofeneinspritzung von Kalkstein bei Temperaturen zwischen 1100 und 1250 ºC,
- Wärmeaustauschereinspritzung von gelöschtem Kalk bei Temperaturen von etwa 550 ºC,
- Einspritzen von gelöschtem Kalk nach dem Ofen bei relative hoher Feuchtigkeit und bei Temperaturen von 5-15 ºC oberhalb der Rauchgassättigung,
- Einspritzung von natriumhaltigen Verbindungen nach dem Ofen, z. B. Natriumbicarbonat zwischen dem Wärmeaustauscher und dem Staubabscheider, bei einem Temperaturbereich zwischen 130 und 180 ºC oder bis zu 400 °C, wenn es das Filtermaterial erlaubt.

Mit der **halbtrockenen Einspritzung**, wird das Absorptionsmittel als Suspension oder Lösung (Tröpfchen) in die Reaktionskammer so zugeführt, dass die Flüssigkeit während der Reaktion kontinuierlich verdampft. Das Ergebnis ist ein trockenes Produkt, das am Kammerboden oder in einer Staubbehandlungsvorrichtung gesammelt wird. Dieses Verfahren ist in Abbildung 3.86 [cww/tm/79] dargestellt, wo ein Gewebefilter als Staubbehandlungsvorrichtung verwendet wird, der durch einen Elektrofilter ersetzt werden kann.

Das halbtrockene System besteht aus:

- Sprühtrockner, d. h. Verdüser und Reaktionskammer (ein Turm oder Kamin, Tröpfchen und Rauchgas im Gleichstrom),
- Verbundene Schlamm/Flüssigkeitseinsrichtung (Kalkschlamm oder Natriumcarbonat- oder Natriumbicarbonat-Lösungen),
- Staubabscheider,
- Staubrückführung.

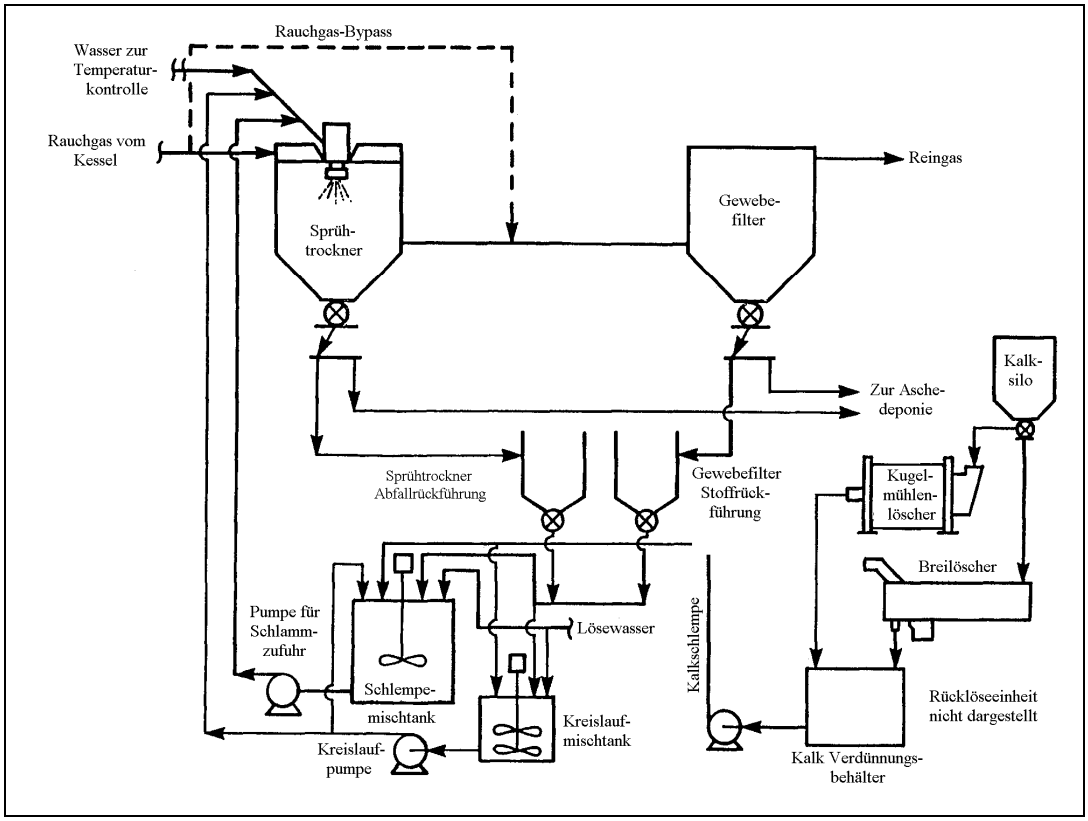

Abbildung 3.86: Sprüh- oder halbtrockene REA-Anlage

Mit der **nassen Einspritzung** wird in dem REA-Absorber das SO_2 aus dem Rauchgas mittels direktem Kontakt mit einer wässrigen Suspension von fein gemahlenem Kalkstein (Kalkmilch) entfernt. Dies erfolgt nach der Staubabscheidung und nach dem Wärmeaustauscher. Das gewaschene Rauchgas strömt durch einen Nebelabscheider und wird über einen Kamin oder Kühlturm in die Atmosphäre geleitet. Die Reaktionsprodukte werden vom Absorber entfernt und zwecks Entwässerung und Weiterverarbeitung abgeführt.

Das Verfahren wird unterteilt in:

- Absorption von SO_2 mittels Waschflüssigkeit im pH-Bereich von 4-5,5 mit der Bildung von Calciumbisulfit [$Ca(HSO_3)_2$] als Primärprodukt,
- Oxidation des Bisulfit zum Sulfat,
- Kristallisation des gebildeten Gipses ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$),
- Abtrennung der Gipskristalle aus der Lösung.

Das Verfahren wird in Abbildung 3.87 dargestellt.

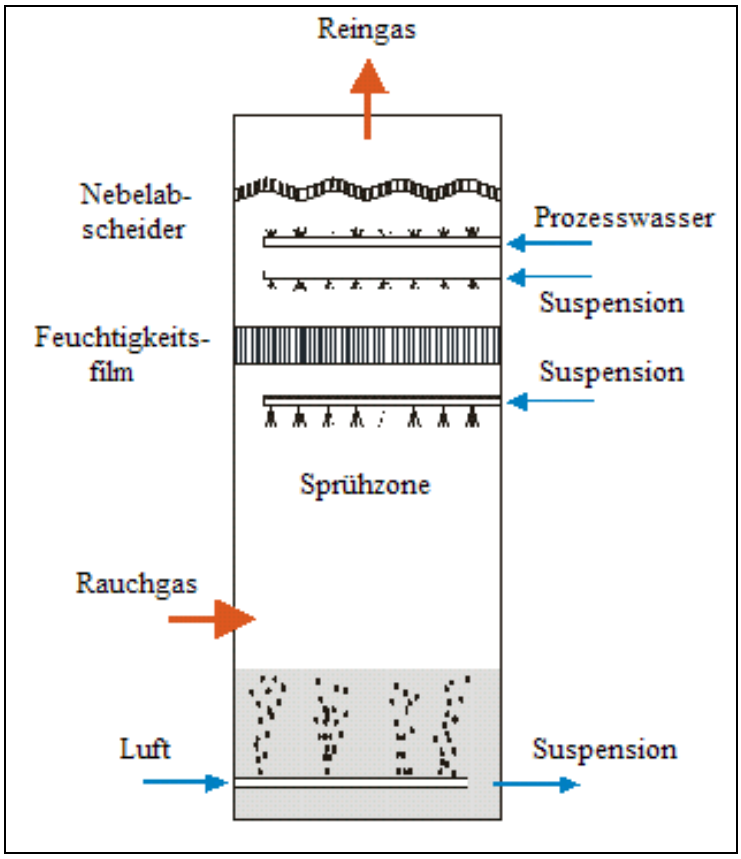

Abbildung 3.87: Nasses REA-System: Kalkmilchwäscher

Der feste Bestandteil des Wäscherkreislaufs ist hauptsächlich Gips in einer Konzentration von 100-120 g/l. Moderne Verbrennungsanlagen arbeiten mit einer ziemlich starken Mischung und der Sauerstoffgehalt des Rauchgases reicht oft nicht aus, um die Bisulfitoxidation zu beenden. Daher wird in den Wäschersumpf Luft eingeblasen. Zur Vermeidung von Belagbildungen im Reingaskanal werden die REA-Anlagen normalerweise mit einem Nebelabscheider ausgerüstet.

Der Entschwefelungsgrad hängt vom Verhältnis der Flüssigkeit zum Gas (L/G) ab. Die Querturbulenz zwischen Flüssigkeit und Gas kann mit hohen Gasströmen erhöht werden, wo der Massentransfer und demzufolge der Entschwefelungsgrad verbessert wird. Andererseits ist es für Gleichstromeinheiten charakteristisch, dass hohe Gasmengen die Aufenthaltszeit und somit den Entschwefelungsgrad verringern.

Um die Chloridkonzentration in der Waschlösung auf unter 30 g/l zu senken, wird ein Teil abgetrennt und behandelt, um Schwermetalle und CSB zu entfernen. Verbrauchte Kalkmilch wird durch frische ersetzt.

Das behandelte Rauchgas verlässt mehr oder weniger gesättigt die REA-Einheit. Um sicherzustellen, dass der Taupunkt überschritten ist, ist eine Nachheizstufe (normalerweise ein regenerativer Gasvorwärmer) und ein ausreichender Aufwärtsstrom im Kamin oder Kühlturm erforderlich.

Die entsprechende Behandlungstechnik zur Entfernung des trockenen Materials bei trockenen oder halbtrockenen Systemen sind Elektrofilter oder Gewebefilter. Wenn Gewebefilter benutzt werden, ist eine Rauchgaskühlung erforderlich, entweder mittels Wärmetauscher oder mittels Kühlluft, um die Temperatur unterhalb 200 °C zu halten (ausgenommen bei Gewebefilter für höhere Temperaturen wie solche aus Keramik oder Metallgaze/Metallgewebe).

Die Temperatur für die maximale Behandlungsleistung variiert von Anlage zu Anlage. Weiterhin besteht eine unterschiedliche Reaktivität der Gasschadstoffe mit den verschiedenen Absorptionsmitteln und es finden Konkurrenzreaktionen zwischen den verschiedenen Substanzen statt, besonders wenn das Verhältnis zwischen Reaktionsmittel/saures Gas relativ gering ist. Daher sind die unterschiedlichen Absorptionsgrade von der spezifischen Menge des Absorptionsmittels, der Abgaszusammensetzung (wie Schadstoffe, Feuchtigkeit, Sauerstoffgehalt) und der Reaktionstemperatur abhängig. Die Absorptionsmengen sind aufgrund der Natur der Gas/Feststoffreaktion stark von der aktiven spezifischen Fläche der Absorptionsmittel und der Verweilzeit abhängig. Daher ist normalerweise ein überstöchiometrisches Verhältnis der Absorptionsmittel erforderlich.

Die Reinigungsleistung für Substanzen wie HCl und SO_2 verringert sich mit abnehmender Temperatur drastisch und erreicht das Minimum im Bereich zwischen 200 and 280 °C. Unterhalb 200 °C steigen die Reinigungsleistungen an und können für die meisten Schadstoffe gute Resultate erzielen.

Anwendung

Trockene und halbtrockene Absorptionsmitteleinspritzungen werden typischerweise für die Emissionsminderung von sauren Gasen verwendet. Die trockene Variante ist auch für kleinere Betriebe oder zur Nachrüstung von Anlagen geeignet, die für andere Systeme sehr hohe Investitionen erfordern würden. Zur Verringerung anderer Verunreinigungen kann dem trockenen Absorptionsmittel körnige Aktivkohle (GAK) zugesetzt werden.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen [cww/tm/70]:

	Grenzen / Beschränkungen
Typischer Gasstrom [Nm^3/h]	10000–300000 (trockene Absorption)
	Bis zu 1000000 [1] (halbtrockene Absorption)
	50-500000 [1] (nasse Absorption)
SO_x Konzentration	Großer Bereich
Halogenwasserstoff-Konzentration	Großer Bereich
[1] [cww/tm/70]	

Vorteile/Nachteile

Vorteile	**Nachteile**
Trockene Absorptionsmittel • Keine zusätzlichen Installationen erforderlich, da ein System zur Staubentfernung normalerweise bereits vorhanden ist. • Hohe Leistung falls eine gut gebaute Reaktorkammer oder Reaktionsturm installiert ist. • Geringe Kosten im Vergleich zu anderen Systemen.	Trockene Absorptionsmittel • Das zugeführte Absorptionsmittel kann mit Flugasche reagieren und kann zum Fouling der Wärmetauscheroberfläche führen. • Großer Überschuss an Absorptionsmittel, das zu entsorgen ist.
Halbtrockene Absorptionsmittel • Relative einfache Installation. • Billiger als Nasswäscher. • Kein Abwasseranfall.	Halbtrockene Absorptionsmittel • Geringe Staubabscheidung in der Reaktionskammer. • Feuchtigkeit kann stören, falls ein Gewebefilter zur nachgeschalteten Staubabscheidung verwendet wird.
Nasse Absorptionsmittel • Sehr hohe Leistungen. • Kompakte Bauart. • Kann bei relativ hohen Temperaturen arbeiten (50-80 °C). • Indirekte Überwachung über stöchiometrische Dosierung der Chemikalien (wenn pH-kontrolliert). • Wiederverwendbares Produkt, wenn Kalk verwendet wird (Gips).	Nasse Absorptionsmittel • Abwasser entsteht. • Hoher Wasserverbrauch im Vergleich zur trockenen oder halbtrockenen Variante.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Wie bereits oben dargestellt, hängt die Leistung von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich der Abgastemperatur, dem molaren Verhältnis zwischen Absorptionsmittel/Schadstoff und der Verteilung des Absorptionsmittels. Verschiedene Leistungen sind unter verschiedenen Bedingungen in den Tabelle 3.19 –Tabelle 3.22 dargestellt.

Schadstoff	Leistung [%]		
	Elektrofilter		Gewebefilter
	etwa 400 °C	200–280 °C	130–240 °C
SO_2	50	10	10
SO_3	80	90	95
HCl	70	35	80
HF	95	95	95
Ref.: VDI Richtlinien 2578, Nov. 1997			

Tabelle 3.19: Wirkungsgrade für Trockene Absorption mit Kalk als Absorptionsmittel bei verschiedenen Temperaturen und Staubbehandlungssystemen

Molares Verhältnis Ca/S	SO_x Reinigungsleistung [%]	
	130–140 °C	170–180 °C
1	30	22
2	50	40
3	70	55
Ref.: Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999		

Tabelle 3.20: Reinigungsleistungen für SO_x Behandlung mittels trockener Absorption (Kalk) bei verschiedenen Temperaturbereichen und molaren Ca/S-Verhältnissen

Molares Verhältnis Ca/S	SO_x Reinigungsleistung [%]
1	80
1,5	90
2	92
Ref.: Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME 1999	

Tabelle 3.21: Reinigungsleistungen für SO_x Behandlung mittels halbtrockener Absorption (Kalk) mit unterschiedlichen Ca/S-Verhältnissen

Schadstoff	Reinigungsleistung [%]	
	Trockene Absorption [a]	Halbtrockene Absorption
SO_2	<50	90–95
SO_3	90	
HCl	50–75	>90
HF	10-40	>85
[a] Temperaturbereich 300–400 °C		

Tabelle 3.22: Reinigungsleistungen für trockene und halbtrockene Absorption mit Natriumcarbonat

Erreichbare Emissionswerte/Leistungsdaten unter Normalbedingungen:

Schadstoff	Trockene Absorption		Halbtrockene Absorption		Nasse Absorption	
	Leistung [%]	Emission [a] [mg/Nm³]	Leistung [%]	Emission [mg/Nm³]	Leistung [%]	Emission [mg/Nm³]
SO_x	40-80 [1 b]	<40	85->90 [1,2]	<40	90-97 [c]	<40 [2]
HCl		<10 [2]	>99 [1]	<10 [2]		<10 [2]
HF		<1 [2]		<1 [2]		<1 [2]

[a] erreichbare Emissionen, aber trockene Absorption wird normalerweise für so niedrige Konzentrationen nicht verwendet, wo die Nasswäsche oder –absorption die bevorzugte Technik sein würde
[b] Verwendung von Gewebefilter kann die Reinigungsleistung um ca. 10 % erhöhen [1]
[c] abhängig vom L/G Verhältnis (90 % mit 8 l/Nm³, 95 % mit 14 l/Nm³, 97 % mit 20 l/Nm³)
[1] [cww/tm/79]
[2] [cww/tm/70]

Über einen Einfluss auf NO_x Emission wurde berichtet, wenn Hydrogencarbonat im halbtrockenen Prozess verwendet wird. Für Natriumhydrogencarbonat liegt der optimale Bereich zwischen 120 und 160 °C. Die Leistung hängt vom SO_2/NO_x Verhältnis ab. Eine hohe Behandlungsleistung wird bei einem hohen Verhältnis und moderaten Temperaturen erreicht [BVT-Merkblatt für die Glasherstellung, 2000].

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoff	Menge		
	Trockene Absorption	Halbtrockene Absorption	Nasse Absorption
Absorbens [a] [Ca/S Molverhältnis]	3 und mehr (für Kalk)	1,5–3 (für Kalk)	<1,1 [1]
Wasser [b] [l/Nm^3]	-	0,027–0,04 [2]	8-20 [c]
Energie [kWh/1000 Nm^3]	Abhängig vom Staubentfernungssystem	1 [3]	
Druckabfall [kPa]	Abhängig vom Staubentfernungssystem	2,5 [3]	

[a] Natriumhydrogencarbonat erfordert einen deutlich geringeren Überschuss
[b] L/G Verhältnis
[c] 8 l/Nm^3 entsprechend 90 %, 14 l/Nm^3 entsprechend 95 % und 20 l/Nm^3 entsprechend 97 % Entschwefelung
[1] [cww/tm/132]
[2] [cww/tm/79]
[3] [cww/tm/70]

Bei der trockenen und halbtrockenen Absorption bestehen die Reaktionsprodukte aus einer Mischung von ursprünglichem Absorptionsmittel und den Reaktionsprodukten und sind zu entsorgen, falls sie nicht zurückgeführt werden können. Abhängig von den zu verbrennenden Schadstoffen, sind darin auch all die Schadstoffe enthalten, die während des Verbrennungsprozesses nicht zerstört wurden, wie Schwermetallverbindungen und/oder Dioxine. Manchmal wird der Staub teilweise zurückgeführt.

Bei der nassen Absorption besteht der Rückstand aus Gips hoher Reinheit (>99 % $CaSO_4$ im Feststoff) [cww/tm/132], der woanders verwendet werden kann.

Überwachung [cww/tm/79]

Die Leistung der trockenen und halbtrockenen Absorptionsmitteleinspritzungen wird über die Bestimmung der Konzentration der sauren Gase und der Staubabscheideleistung bestimmt.

Temperatur und Druckabfall (und Flüssigkeit/Gasstrom-Verhältnis bei der halbtrockenen Variante) werden routinemäßig über dem (Gewebe)Filter überwacht. Wenn ein Elektrofilter verwendet wird, werden der elektrische Strom und die Feldstärke überwacht und warnen bei Störungen der Staubabscheidungseinrichtung.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten		
	Trockene Absorption	Halbtrockene Absorption	Nasse Absorption
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]		EUR 11000 [1 c]	
Jährliche Betriebskosten [pro 1000 Nm3/h]	a [1]	d [1]	
Jährliche Laborkosten	EUR 2500 [1 b]	EUR 20000 [1 e]	
Jährliche Betriebsmittelkosten	EUR 150 + Sorbens [1]	EUR 250 + Sorbens [1]	

a Gesamte jährliche Betriebskosten EUR 2500 + 300 x Kapitalfluss/1000 + Sorbens
[b] geschätzte 2 h pro Woche
[c] bezogen auf 100000 Nm^3/h
d Gesamte jährliche Betriebskosten EUR 20000 + 400 x Kapitalfluss/1000 + Sorbens
[e] geschätzt 1 Tag pro Woche
[1] [cww/tm/70]

3.5.4.2 Selektive Reduktion von NO_x (SNCR und SCR)[14]

Beschreibung

Die selektive Reduktion von NO_x beinhaltet die Einspritzung von of NH_2-X Verbindungen (mit X = H, CN oder $CONH_2$) in den Rauchgasstrom, die die Stickstoffoxide in Stickstoff und Wasser reduzieren. Das gebräuchlichste Reduktionsmittel ist eine 25 % wässrige Ammoniaklösung oder reiner Ammoniak. Andere Reaktionsmittel sind Harnstofflösungen, Kalkstickstoff oder Cyanamide.

Es gibt verschiedene Arten der selektiven NO_x Reduktion:

- Selektive nicht katalytische Reduktion (SNCR),
- Selektive katalytische Reduktion (SCR).

Mit der **SNCR** wird das Reduktionsmittel in den Bereich eingespritzt, wo die Abgase eine Temperatur zwischen 930 and 980 ºC erreicht haben, wobei Harnstoff in einen Bereich eingespritzt wird, der eine Gastemperatur zwischen 950 and 1050 ºC besitzt. Die Einspritzung wird nach der Verbrennung und vor einer weiteren Behandlung vorgenommen. Die Temperatur, das Molverhältnis von NH_3/NO_x und die Verweilzeit sind die Hauptparameter für die optimale Reduktionsleistung. Temperaturen unterhalb des oben erwähnten Levels verursachen Emissionen von nicht umgesetztem Ammoniak (Ammoniakschlupf); Temperaturen deutlich oberhalb des Levels oxidieren Ammoniak zu NO_x. SNCR wird mit einem NH_3/NO_x Molverhältnis von 0,5–0,9 gefahren. Bei höheren Verhältnissen (>1,2) kann auch Ammoniakschlupf stattfinden, wobei sich Aerosole von Ammoniumchlorid und –sulfat bilden, die durch den Filter strömen und sichtbare weiße Fahnen oberhalb des Abgasschornsteins bilden. Die Verweilzeit und die Vermischung sind für die Reaktionsleistung entscheidend. Eine zu kurze Veweilzeit verursacht Ammoniakschlupf.

Beim **SCR** durchströmen das Abgas und das eingespritzte Reagenz einen Katalysator bei Betriebstemperaturen zwischen 200 and 500 °C, abhängig vom Katalysator. Die optimale Mischung, d. h. molares Verhältnis NH_3/NO_x, ist wichtig. Das molare Verhältnis wird normalerweise unterhalb von 1,1 gehalten, um den Ammoniakschlupf zu begrenzen.

Die im Vergleich zum SNCR-Verfahren beträchtlich niedrigeren Temperaturen ermöglichen die Installation nachgeschalteter Behandlungsanlagen wie Staubbehandlung und Rauchgasentschwefelung. Mit diesem „kalten“ Denox-Prozess wird eine Mischung von Luft (zur Kontrolle des optimalen Sauerstoffgehaltes) und Ammoniak nach der Rauchgasentschwefelung zugefügt. Der entschwefelte Rauchgasstrom muss auf die erforderliche Reaktionstemperatur zurück erhitzt werden. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass es keine Adsorption am Staub und keinen Ammoniakschlupf gibt.

Die Ausrüstung für SNCR und SCR besteht aus:

- Lagertank für flüssigen Ammoniak (oder andere Stoffe),
- Verdampfer,
- Trägergasversorgung, Dampf oder Pressluft,
- Einspritzdüsen,
- Katalysatorbett (mit SCR).

Die Hauptkomponenten der Katalysatoren sind Titandioxid mit Vanadium, Wolfram und Molybdänverbindungen.

Es gibt andere Techniken, die Schwefeldioxid und NO_x behandeln, entweder nacheinander oder gleichzeitig wie [cww/tm/50]:

[14] **S**elective **N**on-**c**atalytic **R**eduction und **S**elective **C**atalytic **R**eduction

- Desonox Prozess, bei dem das entstaubte Rauchgas mit Ammoniak vermischt bei 450 °C über einen Katalysator geleitet wird, um NO_x zu reduzieren und dann über einen Katalysator geführt wird, um SO_2 in SO_3 umzuwandeln, das zu Schwefelsäure reagiert
- Absorption von NO (90 % des NO_x im Rauchgas ist NO) und SO_2 mittels Chelaten (zur Bindung von NO) in Natriumbicarbonatlösungen und mittels Redoxreaktion des NO-Komplexes mit Sulfit zum Stickstoffgas.

Anwendung

SNCR und SCR werden zur Verminderung von Stickoxiden aus Verfahren bei der chemischen Produktion, der Verbrennung oder Prozessöfen verwendet. SCR-Konfigurationen sind für hohe und niedrige Staubbelastungen und als Endbehandlung verfügbar.

Anwendungsgrenzen und Beschränkungen:

	Grenzen / Beschränkungen	
	SNCR	**SCR**
Typischer Abgasstrom [Nm^3/h]	>10000	Bis zu 1000000 [1]
NO_x Konzentration	Im Bereich von g/Nm^3 [1]	Im Bereich von g/Nm^3 [1]
Temperatur [°C]	800–1100 (abhängig vom Agens)	200–500 (abhängig vom Katalysator)
Druck	atmosphärisch [1]	atmosphärisch [1]
Verweilzeit [s]	1–2	
NH_3/NO_x molares Verhältnis	<1,2	<1,1
[1] [cww/tm/70]		

Vorteile/Nachteile

Vorteile	Nachteile
allgemein • Sowohl SNCR als auch SCR sind allgemein erprobte Techniken.	allgemein • Bei Verwendung von flüssigem Ammoniak hat die Sicherheit höchste Bedeutung.
SNCR • Unter richtigen Bedingungen ist eine gute NO_x Verminderung erreichbar. • Relativ einfache Installation, obwohl viel Know-how erforderlich ist, um die richtige Positionierung der Ammoniakeinspritzungen zu finden. • Geringe Kapitalkosten im Vergleich zu Alternativen. • Wenig Energie erforderlich.	SNCR • Hohe Temperaturen erforderlich. • Flugasche enthält Ammoniak. • Außerhalb des Bereichs der Betriebsbedingungen (Temperatur, NH_3/NO_x –Verhältnis, Verweilzeit) Ammoniakschlupf oder erhöhte NO_x Emissionen.
SCR • Sehr hohe Wirksamkeit der NO_x Verminderung, ist höher als mit SNCR, und geringere NO_x Emissionen. • Reduziert NO_x von allen Quellen, nicht nur vom Rauchgas. • Geringe Temperatur und damit geringerer Energieverbrauch für die Erhitzung. • Wegen des geringen Staubgehaltes geringerer Ammoniakschlupf mit der Flugasche im Vergleich zu SNCR.	SCR • Außerhalb des Bereichs der Betriebsbedingungen (Temperatur, NH_3/NO_x –Verhältnis, Verweilzeit) Ammoniakschlupf, verringerte Wirksamkeit der NO_x Zerstörung. • Druckabfall ist zu berücksichtigen. • Großer Platzbedarf. • Relativ hohe Kapitalkosten, verglichen mit SNCR.

Erreichbare Emissionswerte / Wirkungsgrade

Parameter	SNCR		SCR	
	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]	Leistung [%]	Emission [mg/Nm^3]
NO_x (Gaskessel/-feuerungen)	40-70	150-200	90-94	<20
NO_x (Kessel/Feuerungen mit Flüssigbrennstoff)	40-70	150-300	90-94	55-150
NO_x (aus der Salpetersäure-Herstellung)	–	–	80-97 [1]	74-100 [3]
NH_3		<5 [2]		<5 [2]

[1] geringer Wert – Information aus den Niederlanden, oberer Wert [cww/tm/137]
[2] Messungen in Österreich; Wert für neue Katalysatoren aber höhere NH_3-Emissionen, wenn Katalysator altert
[3] geringer Wert Information aus den Niederlanden, oberer Wert [cww/tm/157 a]

Medienübergreifende Wirkungen

Verbrauchsstoffe sind:

Verbrauchsstoff	Menge	
	SNCR	SCR
Ammoniak [kg/Tonne NO_x entfernt]	570 [1]	370–450 [1,2]
Dampf zur Ammoniakverdunstung (aus wässriger Lösung)		
Energie [kWh/1000 Nm^3]		
Druckabfall [kPa]	-	0,1-1 [1]

[1] [cww/tm/70]
[2] oberer Wert Information aus Italien

Der Katalysator hat unter normalen Bedingungen eine Standzeit von 5-10 Jahren oder >10 Jahre, wenn sauberes Abgas einbezogen wird, d. h. Abgas von Salpetersäurebetrieben. Nach dieser Zeit kann er nicht regeneriert werden, wird aber normalerweise vom Hersteller recycelt.

Überwachung

Die Leistung des SNCR / SCR Systems kann mittels Analyse des Stickoxidgehaltes vor und nach der Behandlung und des Ammoniakgehaltes sowie Sauerstoffgehaltes des gereinigten Gasstromes überwacht werden.

Die Temperatur und der Druckabfall (mit SCR) werden routinemäßig überwacht.

Ökonomische Daten

Kostenart	Kosten	
	SNCR	SCR
Kapitalkosten [pro 1000 Nm^3/h]	EUR 2300–3900 [1]	EUR 7500–32000 [1]
Betriebskosten [pro Tonne entferntes NO_x]	EUR 700–1200	EUR 500–5000 [1,2]

[1] [cww/tm/70]
[2] [Kommentar]

Der Parameter für die Kostenrentabilität ist bei SNCR der Verbrauch an Ammoniak oder Harnstoff, im Falle von SCR ist es der Katalysator. Die Nachrüstung von SNCR ist relativ leicht, weil keine andere Ausrüstung als die Injektionsanlage und der Lagertank für das Reagenz zu installieren sind. Die Nachrüstung des SCR kann umfangreiche Änderungen der vorhandenen Installation erforderlich machen und damit hohe Kapitalkosten erfordern.

4 BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN FÜR DIE ABWASSER- UND ABGASBEHANDLUNG / DAS MANAGEMENT IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

4.1 Einführung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seines Inhalts möge der Leser zum Vorwort dieses Dokuments zurückkehren, insbesondere zum fünften Abschnitt: „Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments". Die Bewertung der in diesem Kapitel vorgestellten Verfahren und der damit verbundenen Emissions- und/oder Verbrauchswerte oder Wertebereiche erfolgte iterativ in folgenden Schritten:

- Ermittlung der wichtigsten Umweltprobleme in der entsprechenden Branche,
- Prüfung der wichtigsten Verfahren zur Behandlung dieser Umweltprobleme,
- Ermittlung der besten Umweltschutzleistungen auf der Grundlage der in der Europäischen Union und weltweit verfügbaren Daten,
- Prüfung der Bedingungen, unter denen diese Leistungen erreicht wurden, wie Kosten, medienübergreifende Wirkungen, wichtigste treibende Kräfte bei der Umsetzung dieser Verfahren,
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) und der damit verbundenen Emissions- und/oder Verbrauchswerte für diese Branche im Allgemeinen gemäß Artikel 2 Absatz 11 und Anhang IV der Richtlinie.

Die Beurteilung durch Sachverständige des Europäischen Büros für die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (EIPPCB) und der einschlägigen technischen Arbeitsgruppe (TWG) hat bei jedem dieser Schritte und der Wahl der Darstellungsform eine Schlüsselrolle gespielt.

Auf Grundlage dieser Beurteilung werden in diesem Kapitel Techniken und - soweit dies möglich ist – die mit der Anwendung von BVT verbundenen Emissions- und Verbrauchswerte dargestellt, die insgesamt für die Branche als geeignet angesehen werden und in vielen Fällen die derzeitigen Leistungen einiger Anlagen in diesem Industriezweig widerspiegeln. Sofern „mit den besten verfügbaren Techniken verbundene" Emissions- oder Verbrauchswerte angegeben werden, ist dies so zu verstehen, dass diese Werte die Umweltschutzleistung darstellen, die als Ergebnis der Anwendung der beschriebenen Techniken in dieser Branche zu erwarten wäre. Dabei ist das mit der Definition von BVT verbundene Kosten-/Nutzen-Verhältnis bereits berücksichtigt. Es handelt sich jedoch nicht um Emissions- und Verbrauchsgrenzwerte, und sie sollten nicht als solche aufgefasst werden. In einigen Fällen mag es technisch möglich sein, bessere Emissions- oder Verbrauchswerte zu erreichen, aber wegen der damit verbundenen Kosten oder medienübergreifenden Erwägungen werden sie nicht als *geeignete* BVT für die gesamte Branche angesehen. Doch können solche Werte in bestimmten Fällen gerechtfertigt sein, wenn besondere Umstände dies fordern.

Die mit den BVT verbundenen Emissions- und Verbrauchswerte müssen gemeinsam mit den angegebenen Referenzbedingungen (z. B. Mittelungszeiträume) betrachtet werden.

Das oben beschriebene Konzept der „mit den BVT verbundenen Werte" ist von dem an anderer Stelle in diesem Dokument verwandten Begriff „erreichbarer Wert" zu unterscheiden. Wird ein Wert bei Verwendung einer bestimmten Technik oder einer Kombination von Techniken als „erreichbar" beschrieben, so ist dies so zu verstehen, dass die Einhaltung dieses Wertes über einen längeren Zeitraum in einer gut gewarteten und betriebenen Anlage bzw. einem Prozess unter Verwendung dieser Techniken erwartet werden kann.

Wo Kostendaten verfügbar waren, wurden sie zusammen mit der Beschreibung der im vorigen Kapitel vorgestellten Techniken genannt. Sie geben einen groben Hinweis auf die Größenordnung der damit verbunden Kosten. Die tatsächlichen Kosten der Anwendung einer Technik hängen jedoch stark vom Einzelfall ab, z. B. von Steuern, Gebühren und den technischen Merkmalen der betreffenden Anlage. Solche standortspezifischen Faktoren können in diesem Dokument nicht erschöpfend behandelt werden. Liegen keine Kostendaten vor, dann beruhen die Schlussfolgerungen über die wirtschaftliche Vertretbarkeit der Techniken auf Beobachtungen bei bestehenden Anlagen.

Die allgemeinen BVT in diesem Kapitel sollen künftig als Referenz dienen, auf die sich die Leistungsbeurteilung einer bestehenden Anlage oder einer geplanten neuen Anlage bezieht. Auf diese Weise helfen sie bei der Festsetzung geeigneter, „BVT-gestützter" Bedingungen für die Anlage oder bei der Festlegung allgemeiner bindender Vorschriften gemäß Artikel 9 Absatz 8. Voraussichtlich können Neuanlagen so geplant werden, dass sie zumindest die hier vorgestellten BVT-Werte oder sogar bessere Werte einhalten. Es wird auch daran gedacht, dass sich bestehende Anlagen in Richtung der allgemeinen BVT-Werte hinbewegen oder darüber hinausgehen können, je nach der im Einzelfall gegebenen technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit.

Die BVT-Referenzdokumente setzen zwar keine gesetzlich bindenden Normen fest, doch sollen sie der Wirtschaft, den Mitgliedstaaten und der Öffentlichkeit als Richtschnur dafür dienen, welche Emissions- und Verbrauchswerte mit dem Einsatz spezieller Techniken zu erzielen sind. Geeignete Grenzwerte für jeden Einzelfall müssen unter Berücksichtigung der Ziele der Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung und lokaler Erwägungen ermittelt werden.

Ermittlung von BVT in einem Querschnittsdokument

Der horizontale Ansatz für die Abwasser- und Abgasbehandlung / das Abwasser- und Abgas-Management für den gesamten Chemiesektor geht davon aus, dass man die Optionen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Emissionen auch unabhängig von den jeweiligen Produktionsverfahren beurteilen kann. Hierauf fußend ist es möglich, die BVT als die am wirksamsten und besten geeigneten Maßnahmen zu ermitteln, mit denen man – bezogen auf die o.g. Emissionen – ein hohes allgemeines Schutzniveau für die gesamte Umwelt erreichen kann. Bei einem Querschnitts-BREF wie diesem ist die Festsetzung der BVT weiter zu fassen als bei einem vertikalen BREF, insbesondere indem man mehr als lediglich die Technologie ins Auge fasst.

Der Begriff BVT, so wie er in diesem Dokument benutzt wird, schließt beides ein:

- die Methodik zur Vermeidung von Abwasser- / Abgasemissionen, zur Ermittlung und Ausführung von notwendigen Emissionsverbesserungen und zur Feststellung der besten Lösung für die Erfassung und Behandlung des Abwassers / Abgases (Abwasser- / Abgas-Management);
- die Ermittlung der am besten geeigneten Behandlungsverfahren [im Sinne von Art. 2(11)].

Zu diesem Zweck beinhaltet dieses Kapitel:

- einen allgemeinen Teil zur Beschreibung allgemeiner BVT zur Methodik eines Umweltmanagements;
- einen speziellen Teil zur Beschreibung von BVT für spezielle Methoden eines Abwasser- / Abgas-Managements und zur Erklärung, wie Entscheidungen zu Gunsten von Abwasser- und Abgasbehandlungsverfahren zustande kommen.

Die chemische Industrie

Die chemische Industrie deckt ein weites Spektrum unterschiedlicher Unternehmen ab; ausgehend von Kleinunternehmen, die sich auf nur ein Verfahren und wenige Produkte konzentrieren und in denen nur an einer oder wenigen Stellen Abwasser / Abgas entstehen, bis hin zu Großunternehmen mit umfangreichem Produktionsmix und komplexen Abwasser- / Abgasströmen. Doch obwohl es wahrscheinlich keine zwei Chemiebetriebe gibt, die in Bezug auf Produktionsumfang und -mix, ihrer Umweltsituation sowie hinsichtlich der Menge und Beschaffenheit der Emissionen vollständig miteinander vergleichbar sind, können im Hinblick auf die Abwasser- und Abgasbehandlung BVT für den gesamten Chemie-Sektor beschrieben werden.

Einführung von BVT

In neuen Anlagen ist die Einführung von BVT normalerweiser unproblematisch. In den meisten Fällen ist es ökonomisch sinnvoll, die Produktionsprozesse und die daraus entstehenden Abwasser- / Abgasströme so zu planen, dass Emissionen und Materialverbrauch minimiert werden. Bei bestehenden Anlagen dagegen ist die Einführung von BVT auf Grund der bereits vorhandenen Infrastruktur und der spezifischen örtlichen Gegebenheiten im Allgemeinen keine leichte Aufgabe (s. Abschnitt 3.2.2). Dennoch wird in diesem Dokument nicht zwischen BVT für neue und bestehende Anlagen unterschieden. Eine solche Unterscheidung würde nicht zur Ermutigung der Betreiber von Industriestandorten beitragen - was den Einsatz von BVT betrifft -, und würde die Bemühungen der chemischen Industrie um eine kontinuierliche Verbesserung der Umweltbedingungen nicht entsprechend widerspiegeln.

Offensichtlich ist es aber weder machbar noch praktikabel, alle als BVT ermittelten Verfahren sofort und auf einmal zu realisieren. Es ist jedoch machbar, BVT in bestehende Anlagen einzugliedern, sobald größere Änderungen geplant sind, oder die BVT, die Einwirkungen auf den gesamten Standort haben, mittels eines Sanierungskonzeptes schrittweise über einen Zeitraum hinweg zu realisieren. Solche Konzepte sind eine Herausforderung an Betreiber und Genehmigungsbehörde, zu einer Übereinkunft hinsichtlich Zeitablauf und Prioritätensetzung bei den erforderlichen Änderungen zu kommen.

Beispielhafte Leitgedanken für ein Konzept zur Prioritätensetzung in bestehenden Standorten wären:

- In-Betracht-ziehen des momentanen Zustands des betroffenen Umweltmediums,
- In-Betracht-ziehen des momentanen Belastungsgrades vor Ort,
- In-Betracht-ziehen der Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf das Verhältnis von gesamter Schadstoffminderung zu Kosten und Gefahrenpotential.

4.2 Allgemeine BVT

BVT für ein Allgemeines Umweltmanagement
Die Aufgabe eines Umweltmanagement ist:

- Umweltziele für die Unternehmungen des Betreibers zu definieren,
- eine optimale Betriebsweise und eine permanente Leistungssteigerung dieser Unternehmungen in Hinsicht auf die Umwelt sicher zu stellen,
- die Erfüllung dieser Umweltziele zu verfolgen.

Die in Abschnitt 2.2 beschriebenen Managementinstrumente sind bei der Festlegung von BVT zu berücksichtigen und sollten sich als Bedingungen oder Nebenbestimmungen in einem Genehmigungsbescheid widerspiegeln. Diese Instrumente sind nicht auf Abwasser und Abgas beschränkt, sondern eine Voraussetzung für beste Leistung, wie sie von der Richtlinie gefordert wird. Die BVT-Entscheidungen für das allgemeine Umweltmanagement, wie unten beschrieben, folgen denselben Grundsätzen für alle Arten von Unternehmen, d. h. für kleine oder große. Im Gegensatz zu großen Gesellschaften ist das allgemeine Umweltmanagement von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) weniger komplex.

BVT ist:

- ein Umweltmanagement- (UMS) oder HSE-System (Health Safety Environment) zu realisieren und daran festzuhalten, dessen Gesamtumfang in Abschnitt 2.1 ausführlich behandelt wird (z. B. ISO 9001 / 14001, EMAS, Responsible Care®, ICC-Business-Charter für Nachhaltige Entwicklung, CEFIC-Richtlinien zum Umweltschutz). Elemente eines guten UMS können einschließen:
  - Einführung einer transparenten Hierarchie in der Mitarbeiterverantwortung für UMS-Belange einschließlich Abwasserauslass, wobei die zuständigen Mitarbeiter der Unternehmensleitung direkt Bericht erstatten;
  - Erstellung und Veröffentlichung eines jährlichen Umweltberichts (z. B. als Teil von EMAS oder ISO 9001 / 14001), um die Verbreitung von Leistungsverbesserungen in der Öffentlichkeit zu ermöglichen, der auch als Träger für den Informationsaustausch gemäß Artikel 16(2) der Richtlinie dienen kann;
  - Festlegung interner (standort- oder unternehmensspezifischer) Umweltziele, die in regelmäßigen Abständen überprüft (s. Abschnitt 2.2.2.2) und im Jahresbericht veröffentlicht werden;
  - Durchführung regelmäßiger Audits, um die Einhaltung der Grundsätze des UMS sicher zu stellen;
  - regelmäßige Überwachung der Leistungen und Fortschritte in Bezug auf die Umsetzung des UMS;
  - regelmäßige Durchführung von Risikobewertungen, um mögliche Gefahren festzustellen (s. Abschnitt 2.2.3.1);

- regelmäßiges Benchmarking und Überprüfung der Verfahren (Produktion und Abwasser-/Abgasbehandlung) mit Blick auf eine Verringerung ihres Wasser- und Energieverbrauchs, der Abfallentstehung und der medienübergreifenden Auswirkungen (s. Abschnitt 0);
- Durchführung eines geeigneten Schulungsprogramms für die Mitarbeiter und die Erarbeitung von Anleitungen für die am Standort tätigen Subunternehmer in Bezug auf Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltaspekte und die in Notfällen zu treffenden Maßnahmen (s. Abschnitt 2.2.4.2);
- Anwendung einer guten Wartungspraxis, um den ordnungsgemäßen Betriebs der technischen Gerätschaften sicher zu stellen.

BVT für Abwasser- / Abgas-Management

Es ist die Aufgabe eines Abwasser- / Abgas-Managements, das am Standort erzeugte und abgeleitete Abwasser / Abgas an die gesetzlichen und genehmigungsrechtlichen Anforderungen sowie an die vorgegebenen örtlichen Umwelt- und sanitären Verhältnisse anzupassen und die Umweltverhältnisse ständig zu verbessern, wie es im CEFIC-Programm "Responsible Care" verankert ist. Es werden Alternativen zur Vermeidung oder Verminderung von Emissionen oder ihren Umwelteinwirkungen ermittelt und untersucht. Ergebnis der Überlegungen und Entscheidungen eines Abwasser- / Abgas-Managements sind:

- eine mögliche Emissionsminderung im Produktionsprozess,
- Maßnahmen zur Vermeidung einer unnötigen Verunreinigung von ansonsten unbelasteten Ableitungen,
- optimale Abwasser- und Abgas-Erfassungssysteme,
- optimale Emissionsminderungssysteme,
- optimale Überwachungssysteme, um die Einhaltung von Zielvorgaben oder gesetzlichen Vorschriften zu kontrollieren.

Wie schon beim allgemeinen Umweltmanagement, so gelten auch beim Abwasser- / Abgas-Management für alle Unternehmensgrößen die gleichen Grundregeln für BVT. Während das Abwasser- / Abgas-Management bei Unternehmen mit nur einer oder sehr wenigen Produktionslinien und Emissionsquellen eine relativ leichte und einfache Aufgabe ist, so ist es bei großen Standorten mit einem Multiproduktions-Mix in der Regel sehr komplex (s. Abschnitt 2.1, Abbildung 2.3).

BVT ist:

- Einführung eines Abwasser- / Abgas-Managementsystems oder eine Bewertung der Abwasser- / Abgas-Ableitung für den gesamten Chemiestandort (s. Abschnitt 2.1 und Abbildung 2.2) durch eine geeignete Kombination der folgenden Maßnahmen:
  - Erstellen einer Bestandsaufnahme oder eines Katasters für den Standort und der Abwasser- und Abgasströme. Diese Bestandsaufnahmen liefern die erforderlichen Informationen für die nachfolgenden Untersuchungsschritte (s. Abschnitte 2.2.1.1 und 0);
  - systematisches Verfolgen der internen Massenströme unter Anwendung von EMFA (s. Abschnitt 2.2.1.3) - entsprechend der Komplexizität des Abwasser- / Abgassystems -, um die notwendigen Schlüsse für eine Optimierung ziehen zu können; bei Standorten mit nur einer oder sehr wenigen Emissionsquellen kann dies überflüssig oder sehr einfach sein;
  - für jedes Medium die Ermittlung und Prüfung der wichtigsten Emissionsquellen und deren Auflistung entsprechend ihrer Schadstoffbelastung. Die sich daraus ergebende Rangordnung der Emissionsquellen ist die Grundlage für ein Sanierungsprogramm, bei dem die Quellen mit dem größten Minderungspotential Priorität haben;
  - Prüfung der Auswirkungen der Emissionen auf die aufnehmenden Medien (Luft und Wasser); an Hand dieser Ergebnisse sollte festgelegt werden, in wieweit eine weitergehende Behandlung erforderlich ist oder ob die Emissionen überhaupt akzeptiert werden können;
  - Prüfung von Toxizität und, sofern entsprechende Untersuchungsmethoden vorliegen, Persistenz und potentieller Bioakkumulation des Abwassers, das in einen Vorfluter eingeleitet werden soll (s. Abschnitt 2.2.1.2.1), um mögliche gefährliche Auswirkungen auf das Ökosystem feststellen zu können. Die Ergebnisse werden der zuständigen Behörde übermittelt;
  - Ermittlung und Untersuchung der Prozesse mit relevantem Wasserverbrauch und deren Auflistung entsprechend ihrem Wasserverbrauch. Die sich daraus ergebende Rangordnung ist die Grundlage für eine Verbesserung des Wasserverbrauchs;
  - Verfolgen von Verbesserungsmöglichkeiten (z. B. für die Abwasser- / Abgasminderung, die Sanierung von Abwasserableitung und -behandlung und/oder der Möglichkeiten für prozessintegrierte Maßnahmen), mit besonderem Gewicht auf Ströme mit höheren Konzentrationen und Schadstofffrachten, ihrem

Gefährdungspotential für und ihre Auswirkungen auf den Vorfluter (s. Abschnitt 2.1 in Verbindung mit Abbildung 2.2).

Abweichende Meinung (split view)
Ein Mitgliedstaat vertrat die Ansicht, dass die Aussagen hinsichtlich der BVT für das Abwasser- und Abgasmanagement teilweise zu allgemein gefasst sind; man verwies auf Beispiele für Ströme mit höheren Konzentrationen und Frachten (wie in Abschnitt 2.2.2.3.1 dargelegt).

- Bewertung der effektivsten Optionen durch einen Vergleich der gesamten Reinigungsleistung, der Gesamtbilanz in Bezug auf die medienübergreifenden Wirkungen (cross-media effects), der technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Machbarkeit, usw. (s. Abschnitt 2.1).

Die Beurteilung der Abwasser- / Abgasströme dient als Grundlage für alle Entscheidungen hinsichtlich einer Trennung von Abwasser- / Abgasströmen, Minderungsstrategien, Prozessverbesserungen (s. dazu die Ausführungen in den vertikalen BREFs für den chemischen Sektor sowie die ihm nahe stehenden Sektoren im Hinblick auf saubere Technologie, saubere Einsatzstoffe, verbesserte Prozessanlagen, Behebung von Leckagen etc.) und Behandlungsverfahren. Ein Beispiel für ein wirkungsvolles Abwasser-Management für Chemiestandorte, deren Abwasser mit organischen Frachten aus der Produktion von organischen Chemikalien belastet ist, wird aus Deutschland berichtet. Bei Befolgen der aufgezeigten Strategie gilt eine CSB-Gesamtelimination (einschließlich Vorbehandlung) von mindestens 90 % als ein angemessenes Ziel. BVT für die auf Grund der Ergebnisse der Beurteilung der Abwasser- / Abgasströme durchzuführenden Maßnahmen werden in Abschnitt 4.3 vorgestellt.

- bei der Planung neuer Tätigkeiten bzw. bei Änderungen bestehender Tätigkeiten die Auswirkungen auf die Umwelt und auf die Behandlungsanlagen zu bewerten, wobei die zukünftige mit der jetzigen Umweltsituation verglichen wird, und darlegen, ob wesentliche Änderungen zu erwarten sind;
- die Emissionen am Ort des Entstehens durch Trennen der Abwasser- / Abgasströme, Errichten von geeigneten Sammelsystemen und Durchführen von Baumaßnahmen (s. Abschnitt 4.3) zu mindern;
- die Produktionsdaten mit den Daten über die emittierten Frachten abzugleichen, um die tatsächlichen und die berechneten Emissionen zu vergleichen. Passen die Daten nicht zusammen, ist der Prozess, der für die unerwarteten Emissionen ursächlich ist, zu ermitteln;
- belastete Abwasser- /Abgasströme am Ort des Anfalls zu behandeln statt sie zu verdünnen und anschließend einer zentralen Behandlung zu unterziehen, sofern keine schwerwiegenden Gründe dagegen sprechen. Die meisten Behandlungsverfahren arbeiten am effektivsten bei hohem Schadstoffgehalt. Darüber hinaus ist es wirtschaftlich, verhältnismäßig kleine Teilströme in kleinen, hoch-effizienten Behandlungseinrichtungen zu behandeln, als in großen zentralen Anlagen mit hoher hydraulischer Belastung;
- Qualitätssicherungsverfahren einzusetzen (s. Abschnitt 2.2.2.6), um die Behandlung und/oder die Produktionsprozesse zu bewerten und/oder um zu verhindern, dass diese außer Kontrolle geraten;
- bei der Reinigung der Anlagen eine gute Verfahrenspraxis anzuwenden, um Emissionen in Wasser und Luft zu verringern;
- Anlagen / Verfahren einzurichten, um ein frühzeitiges Erkennen von Abweichungen zu ermöglichen, die Auswirkungen auf die nachgeschalteten Behandlungsanlagen haben, und so den Ausfall dieser Anlagen zu vermeiden; den Ursprung der Abweichung zu ermitteln und die Ursache abzustellen. In der Zwischenzeit kann das angefallene Abwasser in einen Puffertank geleitet werden, bzw. das Abgas zu geeigneten Sicherheitseinrichtungen, z. B. einer Fackel, geführt werden;
- ein wirksames zentrales Warnsystem einzubauen, das allen zuständigen Stellen Betriebsunfälle und -störungen meldet; kann der Vorfall wesentliche Auswirkungen auf die Umwelt und/oder die Nachbarschaft haben, ist die zuständige Behörde mit in die Informationskette aufzunehmen;
- ein Überwachungsprogramm für alle Behandlungsanlagen einzuführen, um deren ordnungsgemäßen Betrieb zu kontrollieren, um jegliche Unregelmäßigkeiten oder Betriebsstörungen festzustellen, die Einfluss auf das aufnehmende Medium haben könnten, und um Auskunft über die aktuellen Schadstoffemissionen geben zu können;

- Art. 9(5) der Richtlinie fordert die Einführung eines Überwachungsprogramms zur Feststellung der Emissionen. Die daraus erhaltenen Informationen dienen der Benachrichtigung der Öffentlichkeit nach Art. 15(2) der Richtlinie. Das Überwachungsprogramm sollte die Schadstoffe und/oder Leitparameter enthalten, die für die Behandlungsanlage von Bedeutung sind. Die Häufigkeit der Messungen hängt vom Gefahrenrisiko der Schadstoffe, der Störungsanfälligkeit der Behandlungsanlage und der Schwankungsbreite der Emissionen ab;
- Strategien zur Behandlung von Löschwasser und Überlaufwasser festzulegen (s. Abschnitt 2.2.4.1);
- einen Notfallplan für unbeabsichtigte Freisetzungen festzulegen, um eine schnellstmögliche, angemessene Reaktion auf interne Unfälle und Betriebsstörungen zu geben (s. Abschnitt 2.2.4.2);
- die mit der Abwasser- und Abgasbehandlung verbundenen Kosten der Produktion zuzuordnen.

4.3 Spezielle BVT

Wenn die Grundlage für eine Methodik zum Umweltmanagement einmal geschaffen ist, ist der nächste Schritt hin zu einer integrierten Schadstoffvermeidung und -verminderung die Realisierung von technischen Maßnahmen.

4.3.1 Abwasserteil

Dieser Abschnitt ist der Bestimmung von BVT für die Abwasserbehandlung an einem Chemiestandort gewidmet, wobei zusätzlich zu den Behandlungs- (end-of-pipe-) Verfahren auch die erforderlichen Vermeidungs- und Verminderungsverfahren betrachtet werden.

BVT für prozessintegrierte Maßnahmen
Wie bereits in den Abschnitten 1.3.1 und 3.3.1 erwähnt, sind prozessintegrierte Maßnahmen die bevorzugten Methoden zur Vermeidung oder Verminderung von Abwassermenge und / oder –verschmutzung. In der Regel sind sie jedoch produktions- oder prozessspezifisch, so dass ihre Anwendbarkeit einer speziellen Überprüfung bedarf. Dies gehört zum Anwendungsbereich der vertikalen BREFs für den chemischen Sektor und den ihm nahe stehenden Sektoren. Daher beziehen sich die BVT-Schlussfolgerungen für prozessintegrierte Maßnahmen in diesem Dokument nur auf die allgemeine Notwendigkeit, diese Maßnahmen innerhalb einer Produktion einzurichten und berücksichtigen daher ausschließlich Maßnahmen für Prozesse wie Produktwäsche, Gerätereinigung, Vakuumerzeugung und Kühlprozesse, die normalerweise bei den meisten Produktionen angewendet werden.

BVT ist eine geeignete Kombination der folgenden Maßnahmen:
- Einsatz prozessintegrierter, Abwasser oder Schadstoff rückführender Maßnahmen an Stelle von "End-of-pipe"-Technologien, wenn eine solche Option besteht;
- Bewertung bestehender Produktionsanlagen im Hinblick auf die Möglichkeit einer Nachrüstung von prozessintegrierten Maßnahmen. Sollte eine solche Option bestehen, ist diese möglichst zu realisieren (spätestens jedoch, wenn größere Anderungen an der Anlage vorgenommen werden);
- Kreislaufführung von Prozesswasser, sofern aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten und Gründen der Produktqualität machbar; vor der Einleitung sollte die maximale Zahl an Kreisläufen durchlaufen werden (s. Abschnitt 3.3.1.2);
- Optimierung von Produktwäschen, wobei einstufige Durchlaufprozesse zu vermeiden sind, sofern dies aus Gründen der Produktqualität machbar ist (s. Abschnitt 3.3.1.1);
- Vermeidung von Kontaktkühlsystemen (Direktkühlung) sofern machbar (s. Abschnitt 3.3.1.3)
- Vakuumerzeugung mit geschlossenem Kreislauf anstelle von Wasserstrahl- oder Dampfstrahlpumpen, sofern dies machbar und der Einsatz aus Sicherheits- oder Korrosionsgründen nicht verboten ist (s. Abschnitt 3.3.1.4);
- Überprüfung, in wieweit Wasser einsetzende Abgasreinigungsverfahren durch andere Maßnahmen ersetzt werden können (s. Abschnitt 3.3.1.5). Abgasbehandlungsverfahren mit relativ hohem Wassereinsatz (als Wäscher- oder Kühlermedium) sind von besonderer Bedeutung in Gegenden mit geringen Wasservorräten. Beispiele für solche Maßnahmen, die in Gegenden mit Wasserknappheit von großer Bedeutung sein können, sind:
  - Entstaubung mittels trockener Verfahren anstelle von Nasswäsche,
  - SO_x -Minderung in Rauchgasen bevorzugt durch Sekundärmaßnahmen als durch Systeme mit Nasswäschern.

BVT für das Sammeln von Abwasser

Ein geeignetes Abwassersammelsystem ist für eine wirksame Verringerung und/oder Behandlung von Abwasser von essentieller Bedeutung. Über dieses System werden die Abwasserströme in die zugehörige Behandlungsvorrichtung geleitet, und es wird verhindert, dass sich verschmutztes Abwasser mit nicht verschmutztem vermischt.

BVT ist:

- Trennung von Prozessabwasser von nicht verschmutztem Niederschlagswasser und anderen nicht verunreinigten Abwasserströmen. Dadurch werden sowohl die behandlungsbedürftige Wassermenge als auch die hydraulische Belastung vor Zuleitung in die Behandlungsanlagen minimiert und der Kosten-Leistungs-Grad der Behandlungsvorrichtungen gesteigert. Sollten bestehende Standorte noch nicht über ein Trennsystem verfügen, so sollte dieses - zumindest teilweise - installiert werden, wenn größere Änderungen am Standort vorgenommen werden;
- Trennung von Prozessabwasser entsprechend seiner Schadstofffracht: organisches Abwasser von anorganischem Abwasser, das keine oder nur eine unbedeutende organische Belastung enthält, oder von Abwasser mit unbedeutender Verschmutzung. Dadurch wird sichergestellt, dass in eine Behandlungsanlage nur die Schadstoffe gelangen, für die die Anlage geeignet ist.
- Überdachung von verschmutzungsgefährdeten Flächen (z. B. durch Überfüllen oder Leckagen), sofern dies machbar ist. Es verhindert, dass Niederschlagswasser auf diese Flächen fällt und sich mit den Schadstoffen mischt. Dies würde ansonsten die Menge an behandlungsbedürftigem Abwasser erhöhen.
- separate Entwässerung verschmutzungsgefährdeter Flächen einschließlich Pumpensumpf zum Auffangen von Leckage- oder Überlaufverlusten (s. Abschnitt 3.3.4.4). Sie verhindert die Ableitung des durch Produktverluste verunreinigten Niederschlagswassers. Das getrennt aufgefangene Niederschlagswasser wird nach entsprechender Überwachung freigegeben. Entsprechend dem Ergebnis der Überwachung wird es entweder direkt in das Entwässerungssystem für unverschmutztes Niederschlagswasser oder in eine geeignete Behandlungsanlage abgeleitet.
- Nutzung oberirdischer Kanäle für Prozessabwasser innerhalb des Industriestandorts zwischen dem Ort des Abwasseranfalls und der/den Endbehandlungsanlage/n. Sollten die klimatischen Bedingungen oberirdische Kanäle nicht zulassen (Temperaturen erheblich unter 0 °C), stellt eine Ableitung über zugängliche unterirdische Kanäle eine geeignete Alternative dar. Beide Systeme ermöglichen eine einfache und wirtschaftliche Leckagedetektion, die Durchführung von Wartungsarbeiten und Optionen für die Nachrüstung neuer Anlagenteile in bestehenden Anlagen. Viele Standorte der chemischen Industrie verfügen noch immer über unterirdische Abwasserkanäle, und der sofortige Bau eines neuen Kanalsystems ist in der Regel nicht finanzierbar. Allerdings kann diese Maßnahme schrittweise im Zuge größerer Umbaumaßnahmen an den Produktionsanlagen oder dem Kanalsystem realisiert werden;
- der Einbau von Rückhaltekapazitäten für Betriebsstörungen und Löschwasser entsprechend den Ergebnissen einer Risikobewertung. Man kann eine, zwei oder auch alle der im folgenden aufgeführten Möglichkeiten auswählen:
  - dezentrale Rückhaltung für Betriebsstörungen, nach Möglichkeit nahe an der Produktionsstätte und groß genug, um Stofffreisetzungen in den Kanal zu verhindern, während der Prozess kontrolliert heruntergefahren wird;
  - zentrale Rückhaltung, um Abwasser von Betriebsstörungen zu sammeln, das bereits in das Abwassernetz gelangt ist, anstatt es in die zentrale Abwasserbehandlungsanlage zu leiten (s. Abschnitt 3.3.3). Obwohl verschiedene Arten von Rückhaltesystemen betrieben werden, die als BVT betrachtet werden können, so sind die sichersten Systeme diejenigen, bei denen der Tank erst beim Auftreten einer Betriebsstörung geflutet wird (s. Abbildung 3.2), oder bei denen zwei Tanks abwechselnd befüllt werden (s. Abbildung 3.1);
  - Rückhaltung für Löschwasser, entweder isoliert oder in Verbindung mit örtlichen Auffangmöglichkeiten. Die Erfahrung hat gezeigt, das Löschwasser in tausenden von Kubikmetern anfallen kann (z. B. über 15.000 m^3 hoch kontaminiertem Löschwasser). Die Rückhaltekapazität muss also groß genug sein, um damit fertig zu werden und sowohl das Oberflächenentwässerungs- als auch das Abwassersystem zu schützen;
  - Ableitungssystem für gefährliche und entzündliche Stoffe, um sie z. B. aus dem Brandbereich zu entfernen.

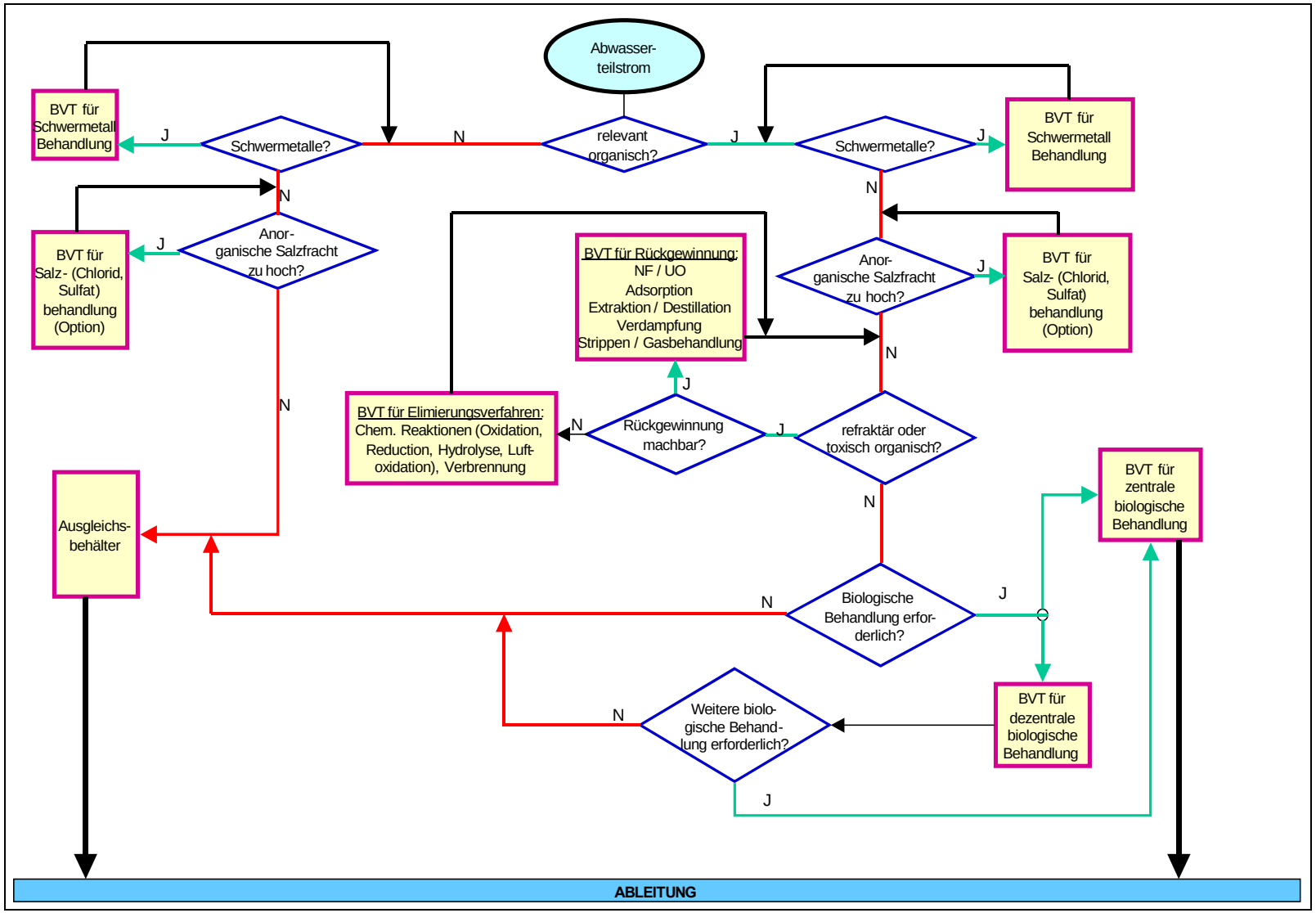

Abbildung 4.1: Entscheidungsbaum für die Abwasserbehandlung an einem Chemiestandort: Grundlage für BVT-Entscheidungen

BVT für Abwasserbehandlung

Die Abwasserbehandlung im Chemie-Sektor verfolgt mindestens vier verschiedene Strategien:

- zentrale Endbehandlung in einer biologischen Kläranlage am Standort,
- zentrale Endbehandlung in einer kommunalen Kläranlage,
- zentrale Endbehandlung anorganischen Abwassers in einer mechanisch-chemischen Kläranlage,
- dezentrale Behandlung/en.

In diesem Dokument wird keinem der vier der Vorzug gegeben. Alle vier Strategien sind als BVT anzusehen, solange sie ordnungsgemäß entsprechend der realen Abwassersitutation eingesetzt werden. Werden sie das nicht, ist keine von ihnen BVT.

Die BVT-Entscheidungen folgen dem Weg der behandlungsbedürftigen Schadstoffe, wie er in Abbildung 4.1 beschrieben ist. An dieser Stelle wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Entscheidungen des Abwassermanagements getroffen wurden, die Auswirkungen auf den Vorfluter bewertet, alle praktikablen Möglichkeiten zur Vermeidung und Verringerung des Abwasseranfalls ausgeschöpft und alle erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen berücksichtigt wurden. Das heißt, dass ab hier nur noch "End-of-pipe"-Lösungen betrachtet werden.

Es sollte erwähnt werden, dass ortsspezifische Gegebenheiten Behandlungsverfahren erforderlich machen können, die ausschließlich für diesen Standort entwickelt wurden, oder dass bekannte und sonst übliche Verfahren in diesem speziellen Fall nicht anwendbar sind. Das folgende Näherungsverfahren, zu BVT-Entscheidungen für die Abwasserbehandlung zu gelangen, ist eine Anleitung zum Auffinden und Installieren des geeigneten Verfahrens. Es betrachtet auch, wie man mit den erwähnten Besonderheiten umgeht, die typisch für die Abwasserbehandlung sind. Die Näherung folgt einem Weg, wie man zu BVT-Entscheidungen für eine geeignete Abwasserbehandlung an einem Chemiestandort kommt, wie er in Abbildung 4.1 dargestellt ist.

- Allgemeines
  BVT ist:
  - die Verteilung der verunreinigten Abwasserströme entsprechend ihrer Schadstofffracht. Man trennt anorganisches Abwasser ohne relevanten organischen Anteil von organischem Abwasser und leitet es speziellen Behandlungsanlagen zu (s. gesonderte Absätze zu Schwermetallen und anorganischen Salzen, die weiter unten in diesem Kapitel behandelt werden). Organisches Abwasser mit relevantem Anteil von anorganischen und refraktären oder toxischen organischen Verbindungen wird speziellen Vorbehandlungseinrichtungen zugeführt (s. Absätze zu Schwermetallen, anorganischen Salzen und Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen, weiter unten in diesem Kapitel).

- Niederschlagswasser
  BVT ist:
  - nicht verschmutztes Niederschlagswasser getrennt von der Abwasserkanalisation direkt in den Vorfluter einzuleiten (Trennkanalisation);
  - Niederschlagswasser von verunreinigten Flächen vor der Einleitung in den Vorfluter zu behandeln; die Verfahren, die eingesetzt werden können, sind in den Abschnitten 3.3.4.1.1, 3.3.4.4.1 und 3.3.4.4.2 sowie der Tabelle 4.1 beschrieben.

  In einigen Fällen könnte die Nutzung von Niederschlagswasser als Prozesswasser ökologisch sinnvoll sein, da so der Frischwasserverbrauch verringert werden kann.

  Die Verfahren in Tabelle 4.1 sind BVT, sofern sie entsprechend der jeweiligen Situation eingesetzt werden. Die Tabelle benennt die Einschränkungen der verschiedenen Verfahren.

	Sandfang			Rückhaltebecken / Sedimentationsbehälter (s. Tabelle 4.3)	Sandfilter
	röhrenförmig	**rund**	**belüftet**		
Zweck	Entfernen nur von Sand und Kies; Schutz des Behandlungsprozesses; Schutz der Ausrüstung vor Abrieb			Klärung und Reinigung von Niederschlagswasser und Abfangen von hydraulischer Belastung von Starkregenereignissen zum Schutz des Vorfluters (Rückhaltebecken); Klärung von Niederschlagswasser vor der Einleitung oder dem Wiedereinsatz (Sedimentationsbehälter)	Behandlung des Niederschlagablaufs von schwach kontaminierten Flächen, entweder zum Ableiten oder zum Wiedereinsatz
Anwendung	Als Teil der Abwasserbehandlungsanlage angewandt auf Niederschlagswasser, das in der AWBA behandelt wird (Niederschlagswasser von hochkontaminierten Flächen); Strömungsgeschwindigkeit 0,3 m/s, somit nur Sand und Grobmaterial abscheidbar			Beseitigung von TSS von schwach kontaminierten Flächen	Beseitigung von TSS
Anwendungsgrenzen	Geeignet für stark fluktuierenden Abwasserfluss	Weniger geeignet für starke Fluktuationen im Abwasserfluss	Geeignet für fluktuierenden Abwasserfluss	Nicht geeignet für Niederschlagswasser von hochkontaminierten Flächen; Nicht geeignet für Regionen mit langen Trockenperioden und/oder hohen Temperaturen, weil lange Verweilzeiten in Verbindung mit Wärme Geruchsemissionen verursachen	Nicht geeignet für Niederschlagswasser von hochkontaminierten Flächen
Verbrauch	Pumpenergie	Pressluft; Energie für Pumpen und Luftstrahl	Pressluft; Energie für Pumpen und Luftstrahl		Pumpenergie; Von Zeit zu Zeit Ersatz des Filtermediums
medienübergreifende Effekte (cross-media effects)	Geräuschemissionen; Geruchsemissionen; Entsorgung von Sand			**Rückhaltebecken**: Schlammentsorgung; In Abhängigkeit von hydraulischer Verweilzeit Geruchsemissionen möglich	Entsorgung von Rückspülschlamm
Raumbedarf	Vergleichsweise gering; Teil der Abwasserbehandlungsanlage			Großer Flächenbedarf	Geringer Raumbedarf
erreichbare Leistung [% Schadstoffelimination]				**Rückhaltebecken**: TSS 50-90	TSS 80-83
Nachrüstbarkeit	Einfach nachrüstbar, falls nicht bereits Bestandteil der Ausrüstung			Nachrüstbar, wenn Raum vorhanden	Einfach nachrüstbar

Tabelle 4.1: Verfahren zur Behandlung von Niederschlagswasser, beschrieben in Kapitel 3

- Freies Öl / Kohlenwasserstoffe

  BVT ist:

  - Entfernung von Öl / Kohlenwasserstoffen, wenn diese als große Klumpen auftreten und mit anderen Systemen unverträglich sind. Ziel ist, die Rückgewinnung durch Einsatz einer geeigneten Kombination folgender Verfahren zu maximieren:
    - ➢ Öl- / Wasserabscheidung durch Zyklon, Mikrofiltration oder API-Abscheider, wenn große Klumpen freien Öls oder Kohlenwasserstoffen zu erwarten sind; ansonsten stellt der Einsatz von Parallelplattenabscheidern (PPI) und Wellplattenabscheidern (CPI) eine Alternative dar (s. Abschnitt 3.3.4.1.6);
    - ➢ MF, Granulat-Medium-Filtration (Sandfilter) oder Entspannungsflotation (s. Abschnitte 3.3.4.1.5, 3.3.4.1.4 und 3.3.4.1.3);
    - ➢ biologische Behandlung (s. Abschnitt über biologisch abbaubare Stoffe), entweder in einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage, einer kommunalen Kläranlage oder einer eigens für den bestimmten Abwasserstrom installierten Behandlungsanlage.

  Die mit BVT verbundenen Emissionswerte für die Beseitigung von Öl / Kohlenwasserstoffen sind in Tabelle 4.2 aufgeführt.

Parameter	Konzentration [a 1] [mg/l]
Gesamtkohlenwasserstoffgehalt	0,05-1,5
BSB_5	2-20
CSB	30-125

[a] Monatsmittel
[b] es besteht Uneinigkeit bezüglich der analytischen Messmethode für Kohlenwasserstoffe, die innerhalb der TWG nicht behoben werden konnte.
[1] aus dem Entwurf des BREFs zu Öl- und Gasraffinerien, Stand Oktober 2001

Tabelle 4.2: Mit BVT verbundene Emissionswerte für freies Öl / Kohlenwasserstoff bei der Einleitung in einen Vorfluter

- Emulsionen

  BVT ist:

  - Spalten von Emulsionen am Ort des Entstehens und Rückgewinnung der aufgetrennten Bestandteile. Die Anwendung von Flockungs- und/oder Koagulierungsmitteln kann die Auftrennung erleichtern; die Behandlung am Ort des Entstehens ermöglicht eine Rückgewinnung und verhindert störende Auswirkungen auf nachgeschaltete Kanalisationssysteme. Oder
  - Beseitigung von Emulsionen am Ort des Entstehens, wenn eine Spaltung nicht möglich ist und störende Auswirkungen auf nachgeschaltete Einrichtungen zu erwarten sind. Geeignete Behandlungsverfahren sind z. B. Nassoxidation, Eindampfung, Verbrennung (falls der Wärmeinhalt der Emulsion eine autotherme Fahrweise zulässt) oder biologischer Abbau. Meist ist eine Einleitung von Emulsionen in das öffentliche Kanalisationsnetz nicht gestattet.

- Feststoffe (abfiltrierbare oder absetzbare Stoffe; total suspended solids - TSS)

  Die in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen zur Beseitigung von Feststoffen schließen diejenigen für Klärschlamm und Schwermetalle aus. Diese werden in anderen Abschnitten behandelt.

  BVT ist:

  - Beseitigung von Feststoffen aus Abwasserströmen, falls dadurch Schäden oder Störungen an nachgeschalteten Einrichtungen verursacht werden können, z. B. Abrieb und Verstopfungen an Pumpen und Rohrleitungen oder Verstopfungen und Verschmutzungen in Behandlungsanlagen. Beispiele für nachgeschaltete Behandlungseinrichtungen, die Schaden nehmen könnten, sind Filter, Adsorptionssäulen, Membranfilter, Behälter für die Oxidation mit UV oder die zentrale bzw. kommunale Kläranlage. Die Verfahren sind in Tabelle 4.3 aufgelistet. Die Rangfolge der Behandlungsverfahren ist:
    - ➢ Schritt 1: Sedimentation / Luftflotation hält den größten Teil der Feststofffracht zurück und schützt nachfolgende Filtersysteme vor Verstopfung oder häufigen Filterrückspülvorgängen. Sedimentation oder Luftflotation reichen normalerweise aus, Abrieb und Verstopfung in Pumpen und Rohrleitungen zu verhindern (vorausgesetzt, dass Emulsionen und nicht absetzbare Feststoffe vorher erfolgreich behandelt worden sind);

  - ➢ Schritt 2: mechanische Filtration, wenn der Feststoffanteil nicht weit genug gemindert werden kann, um ein Verstopfen von nachgeschalteten Behandlungseinrichtungen (z. B. Membranfiltration, Adsorption, chemische Oxidation unter Einsatz von UV) zu vermeiden.
  - ➢ Schritt 3: MF oder UF, wenn feststofffreies Abwasser benötigt wird, z. B. um ein Verstopfen von NF- oder UO-Anlagen zu vermeiden, oder wenn Partikel enthalten sind, die durch andere Filterverfahren nicht beseitigt werden können.
- Beseitigung von Feststoffen aus Abwasserströmen vor Einleitung in einen Vorfluter. Solange die Feststoffe keine gefährlichen Stoffe enthalten, sind die üblichen Verfahren:
  - ➢ Sedimentation / Luftflotation,
  - ➢ Filtration, falls es auf Grund unvollständiger Abtrennung in vorgeschalteten Verfahren erforderlich sein sollte;
- Beseitigung von Feststoffen aus Abwasserströmen mit Techniken, die eine Rückgewinnung der Feststoffe ermöglichen. Ihnen ist der Vorzug gegenüber Eliminationstechniken zu geben, sofern eine Wiederverwendung der Feststoffe machbar und praktikabel ist;
- Einsatz von Flockungs- und/oder Koagulationsmitteln in Gegenwart von fein dispersen oder anderweitig nicht abtrennbaren Stoffen, um absetzbare Flocken zu erzeugen;
- Abdecken oder Verschließen der Behandlungseinrichtung, falls Geruch und/oder Lärm ein Thema sind. Falls erforderlich, ist die Abluft einer weiteren Abgasbehandlung zuzuführen. Im Falle von Explosionsgefahr in der geschlossenen Behandlungseinrichtung sind die erforderlichen Sicherheitseinrichtungen zu installieren;
- ordnungsgemäße Entsorgung des Schlamms durch Übergabe an einen zugelassenen Entsorger oder durch Behandlung am dem Standort (s. Abschnitt zu Schlammbehandlung).

Die als BVT anzusehenden Verfahren sind, in Abhängigkeit von ihrer Anwendbarkeit, in den Abschnitten 3.3.4.1.2 - 3.3.4.1.5 dargestellt und in Tabelle 4.3 aufgelistet.

- <u>Schwermetalle</u>

  Da Schwermetalle chemische Elemente sind, die nicht zerstört werden können, sind Rückgewinnung und Wiederverwertung die einzigen Möglichkeiten, ihre Freisetzung in die Umwelt zu verhindern. Alle anderen Optionen bewirken lediglich eine Verlagerung der Belastung zwischen den verschiedenen Medien: Abwasser, Abluft und Deponien. Abwasserströme mit signifikanter Schwermetallfracht stammen aus Produktionsprozessen, in denen Schwermetalle hergestellt oder eingesetzt werden (z. B. als Katalysatoren), oder aus Reinigungsprozessen von Anlagenteilen aus solchen Produktionen.

  BVT ist :
  - soweit möglich die vollständig getrennte Ableitung von Abwasser, das Schwermetallverbindungen enthält, und
  - die Behandlung der getrennt abgeleiteten Abwasserströme am Ort des Entstehens, bevor sie mit anderen Strömen vermischt werden, und
  - der bevorzugte Einsatz von Techniken, die eine Rückgewinnung ermöglichen. Techniken, die diese Anforderungen erfüllen, sind in Tabelle 4.4 aufgeführt; und
  - die weitere Elimination von Schwermetallen in einer abschließenden Abwasserbehandlungsanlage (chemo-mechanische Stufe für anorganische Produktionen, biologische Behandlung für organische Produktionen) als Nachreinigung mit, soweit erforderlich, anschließender Schlammbehandlung.

    Die TWG sah sich nicht in der Lage, BVT-Emissionswerte für Schwermetalle in Abwasserteilströmen zu liefern, die auf den gesamten Chemiesektor Anwendung finden könnten. Die näheren Gründe hierzu sind in Abschnitt 3.3.4.2.1 aufgeführt. Die Emissionswerte, die sich aus der Anwendung der o.g. BVT ergeben, hängen vom Produktionsprozess ab, aus dem die Schwermetalle stammen.

	Sedimentation	Luftflotation	Filtration	MF/UF
Zweck	Klärung des gesammeltem Niederschlagswassers von TSS; Klärung des Prozesswassers von TSS oder ausgeflockten Feststoffen	Klärung von Prozesswasser, wenn Sedimentation nicht geeignet ist	Endtrennstufe hinter Sedimentation oder Luftflotation um niedrige Feststoffemissionen zu erzielen	Klärung bis hin zu feststofffreiem Abwasser für nachfolgende Behandlungseinrichtungen (z. B. Umkehrosmose)
Anwendung	Trennung der Feststoffe vom Abwasser; TSS können grundsätzlich zurückgewonnen werden	Trennung von nicht absetzbaren Feststoffen und Öl / Fett; Abgetrennte Stoffe können zurückgewonnen werden	Trennung von Feststoffen aus Abwasserströmen; Stoffrückgewinnung abhängig vom Filtertyp	Trennung von allen Feststoffen, kolloiden Teilchen, Bakterien, Viren; Gut geeignet für Stoffrückgewinnung
Anwendungsgrenzen	Partikel müssen absetzbar sein; Keine Grenzen für TSS-Gehalt; Keine stabilen Emulsionen	Keine schäumenden Detergetien; Keine Grenzen bezüglich Zulaufkonzentrationen, aber keine freie Ölmasse	Fein disperse und schleimige Feststoffe vermeiden; Hohe TSS-Beladung verursacht Verstopfung	Membranwerkstoff empfindlich gegen Chemikalien; TSS-Zulauf niedrig wegen Verstopfung
Verbrauch	Chemikalien: 0,5-100 g/m^3 Energie: 0,5-1,5 kW (Behälter-Durchmesser 25-35 m)	Pressluft: 0,53-0,55 m^3/m^3 Flockungsmittel: 2,4-4,7 kg/t TSS Energie: 20,6 kWh/1000 m^3	Filterhilfsmittel; Druckverlust; Energie	Rückspülchemikalien, Chemikalien gegen Ablagerungen und Verschmutzungen; Energie in Anhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Druckverlust: 2-20 kWh/m^3 (MF) [1] 1-10 kWh/m^3 (UF) [1] Druckverlust: 0,02-0,5 MPa (MF) 0,2-1 MPa (UF)
Medienübergreifende Effekte (cross-media effects)	Schlammentsorgung; Geräuschemissionen von Pumpen und Schlamm- / Schwimmschlammbeseitigungssystem; Geruchsemissionen (z. B. VOC) bei offenen Behältern	Schlammentsorgung; Geräuschemissionen von Pumpen und Luftstrahl; Geruchsemissionen (z. B. VOC) bei offenen Behältern, stärker als bei Sedimentation	Schlammentsorgung nach Rückspülung; Geschlossene Filter könnten Verbindungen zu Abgasbehandlungssystemen benötigen	Rückstandsentsorgung; Geräuschemissionen von Pumpen
Raumbedarf	Abhängig von Anlage (Flachtank oder Lamellenklärer)	Geringer als bei Sedimentation		Modulanordnung; Raumbedarf gering im Vergleich mit anderen Techniken
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimintion]	TSS 60-90 Absetzbare Stoffe 90-95	TSS 85-98 Schwermetallsulfide: 95 Bessere Behandlungsstabilität bei Fluktuationen im Zufluss	Abhängig von Filtermedium und Filterhilfsstoffen TSS 50-99,99	TSS nahe bei 100
Erzielbare Emissionen [mg/l]	TSS <10	TSS 10-20 Öl 2-10	TSS <10 Freies Öl <5	
Nachrüstbarkeit	Abhängig vom vorhandenen Raum	ja	ja	ja

[1] Es erscheint überraschend, dass MF als Prozess mit dem geringsten Druckverlust mehr Energie verbraucht als Prozesse mit höherem Druckverlust. Der Grund dafür ist das Auftreten von Konzentrationspolarisation und Verschmutzung. Bei MF, und zu einem geringeren Ausmaß auch bei UF, ist dieses Phänomen sehr stark ausgeprägt und führt zu einem extremen Abfall beim Durchfluss [cww/tm/161].

Tabelle 4.3: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Feststoffe

- Anorganische Salze und/oder Säuren (Ionische Bestandteile)
  Der Gehalt an anorganischen Salzen und/oder Säuren im Abwasser kann sowohl die Ökologie des Vorfluters beeinflussen (dies gilt beispielsweise für kleine Flüsse, wenn diese durch hohe Salzfrachten belastet werden) als auch den Betrieb des Kanalisationssystems beeinträchtigen (z. B. durch Korrosion von Rohren, Ventilen und Pumpen sowie durch Störungen im Betrieb nachgeschalteter biologischer Behandlungsanlagen). Die in diesem Absatz aufgeführten Minderungsmaßnahmen umfassen nicht die Maßnahmen für Schwermetallsalze (dargestellt im vorhergehenden Absatz) und für Ammoniumsalze. Diese werden durch andere Maßnahmen gemindert.

  BVT ist:
  - eine geeignete Minderung des anorganischen Salz- und Säuregehalts von Abwasserströmen, wenn diese einen negativem Einfluss auf die Biologie des Vorfluters haben. Gegebenenfalls ist die Einleitung zu vermeiden. Ist eine Behandlung erforderlich, so erfolgt sie kostengünstiger am Ort des Entstehens;
  - eine Minderung des anorganischen Salzgehaltes (in der Hauptsache Chlorid und Sulfat) durch Behandlung am Ort des Entstehens, so fern Schäden, Störungen und/oder Fehlfunktionen am betrieblichen oder kommunalen Kanalsystem entstehen können;
  - die Auswahl eines Behandlungsverfahrens, das die Rückgewinnung und den Wiedereinsatz der behandelten Schadstoffe ermöglicht, soweit dies machbar und geeignet ist. Hierbei sind die medienübergreifenden Effekte (cross-media effects) einerseits und die Auswirkungen der Schadstoffe andererseits in Betracht zu ziehen.

  Geeignete Behandlungsverfahren sind in Tabelle 4.5 aufgelistet. Die letztendliche Auswahl hängt von den Gegebenheiten ab.

	Fällung / Sedimentation oder Luftflotation / Filtration	Kristallisation	Ionenaustausch	NF / UO
Zweck	Überführen von gelösten Schwermetallverbindungen in unlösliche und Abtrennung aus dem Abwasserstrom	Wachstum von Schwermetallverbindungen auf Keimbildnern im Fließbett	Ersatz von Schwermetallionen in der wäßrigen Phase durch andere Ionen aus dem Ionenaustauscherharz	Abtrennung von Schwermetallionen mittels Membranpermeation; Abtrennung der meisten anderen Schadstoffe
Anwendung	Entfernen von Schwermetallen aus Abwasserströmen, bevorzugt bei höheren Konzentrationen; Wiederverwendung grundsätzlich möglich	Entfernen von Schwermetallen aus Abwasserströmen unter Bedingungen, die eine Fällung ermöglichen; Rückgewinnung ist der Zweck	Lösungen mit Schwermetallionen mit niedrigen Zulaufkonzentrationen; Rückgewinnung ist möglich	Es wird ein hoher Reinheitsgrad zur Rückführung und zum Wiedereinsatz des Wassers erzielt; Anstieg der Schadstoffkonzentration erfordert weitere Behandlung; Rückgewinnung ist möglich
Anwendungsgrenzen	Vermeiden von Komplexbildnern; pH–Einstellung ist wichtig; Nicht anwendbar, wenn bei geringerer Konzentration als die Löslichkeit der gefällten Verbindung		Vermeiden von hohen Ionenstärken; Temperaturgrenze bei etwa 60 °C; Korrosive Reagenzien schädigen das Harz	Konzentrationen mit zu hohen osmotischen Drücken um sie zu handhaben; Geringe thermische und chemische Widerstandsfähigkeit
Verbrauch	Fällungsmittel; Flockungsmittel / Koagulierungsmittel; Pumpenenergie	Kristallisationschemikalien; Energie	Regenerierungsflüssigkeit; Verschmutzungsinhibitoren; Energie	Reinigungschemikalien; Energie: 1-3 kWh/m^3 (NF) 1-3 kWh/m^3 (UO) Druckverlust: 0,5-3 MPa (NF) 2-100 MPa (UO)
Medienübergreifende Effekte (Cross-media effects)	Schlammentsorgung; Geruchsemissionen möglich	Überdosierung von Kristallisationschemikalien kann zu einer höheren Salzfracht führen; In der Regel keine Abfall- oder Schlammentsorgung	Regenerierung liefert Lösungen mit hohen Schwermetallkonzentrationen (Rückgewinnung oder Entsorgung)	Konzentrat erfordert weitere Behandlung, z. B. Ionenaustausch
Raumbedarf		Vergleichbar mit Ionenaustausch und NF/UO	Vergleichbar mit Kristallisation und NF/UO	Vergleichbar mit Kristallisation und Ionenaustausch
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]			80-99	Anorganisch Hg >90 (NF) Organisch Hg >90 (NF) Cd Verbindungen >90 (NF) Mit UO nahe bei 100 %
Erzielbare Emissionen [mg/l]	Bei Schwermetallen stark abhängig vom Produktionsprozess, aus dem sie stammen	Zn 1 Ni 1	0,1–10	Sehr niedrig (nahe bei 0) bei UO
Nachrüstbarkeit	ja		Relativ einfach	

Tabelle 4.4: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Schwermetalle

	Eindampfung	Ionenaustausch	Umkehrosmose	Biologische Sulfat Beseitigung
Zweck	Wasserdestillation mit einem Konzentrat als als Rückstand	Ersatz von Kationen durch H^+ und Anionen durch OH^- Ionen, wobei Salze durch Wasser ersetzt werden	Abtrennung aller Wasserschadstoffe durch Membranpermeation	Anaerobe Reaktion von Sulfat über Sulfid zu Schwefel
Anwendung	Anorganische Salze zum Kristallisieren bringen und aus dem Abwasser abtrennen; Zusätzliches Aufkonzentrieren anderer nicht flüchtiger Stoffe; Grundsätzlich ist eine Stoffrückgewinnung möglich	Lösungen, die Salze enthalten, auch bei Schwermetallen; Rückgewinnung ist möglich	Es wird ein hoher Reinheitsgrad zur Rückführung und zum Wiedereinsatz des Wassers erzielt; Anstieg der Schadstoffkonzentration erfordert weitere Behandlung; Rückgewinnung ist möglich	Entfernung von Sulfat aus Abwasser mit hohem Sulfatgehalt; Kann auch Schwermetalle als Sulfide entfernen; Rückgewinnung des erzeugten Schwefels
Anwendungsgrenzen	Vermeiden von Schaum erzeugenden Stoffen	Vermeiden von hohen Ionenstärken; Temperaturgrenze bei etwa 60 °C; Korrosive Reagenzien schädigen das Harz	Konzentrationen mit zu hohen osmotischen Drücken um sie zu handhaben; Geringe thermische und chemische Widerstandsfähigkeit	Sehr langsame Reaktion, d. h. lange Verweilzeit; CSB/Sulfate mindestens 1:1
Verbrauch	Chemikalien, wenn Vorbehandlung erforderlich; Dampf 5-16 kg Wasser/kg Dampf; Energie	Regenerierungsflüssigkeit; Verschmutzungsinhibitoren; Energie für Pumpen	Reinigungschemikalien; Energie: 1-3 kWh/m^3 Druckverlust: 2-100 MPa	Chemikalien (Neutralisierungsmittel, CSB-Lieferant, Flockungsmittel); Energie
Medienübergreifende Effekte	Kondensat könnte weitere Behandlung benötigen; Lärmemission	Regenerierung liefert hohe Konzentrationen von beseitigtem Salz (Rückgewinnung durch Behandeln des wäßrigen Abfalls oder Entsorgung)	Konzentrat erfordert weitere Behandlung, z. B. Ionenaustausch mit Rückgewinnungsmöglichkeit	Schwefel wird bei Produktionsprozessen eingesetzt (Schwefelsäure);
Raumbedarf	Vergleichbar gering	Vergleichbar gering	Vergleichbar gering	
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	Vollständige Beseitigung von Salz	80-99	Nahe bei 100 %	Sulfat: 94 Zink: 99.8 Cadmium: >99
Erzielbare Emissionen [mg/l]		0,1-10	Sehr niedrig (nahe bei 0)	Sulfat: 75 Zink: 0,05-0,15 Cadmium: <0,01
Nachrüstbarkeit		Relativ einfach		

Tabelle 4.5: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Anorganische Salze (ohne Schwermetalle)

- Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen
  Abgesehen von den in den vorhergehenden Absätzen diskutierten Schadstoffen gibt es Abwasserteilströme, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen, wegen:

  - eines nicht oder nur schlecht biologisch abbaubaren CSB,
  - toxischer Stoffe, die den biologischen Prozess hemmen.

  Deshalb muss die Einleitung solcher Schadstoffe in eine biologische Behandlungsanlage vermieden werden. Eine Vorhersage, welche Schadstoffe hemmend auf die biologischen Prozesse in einer Abwasserbehandlungsanlage wirken, ist jedoch nicht möglich, da dies von der Adaption der in dieser Anlage wirkenden Mikroorganismen an die Schadstoffe abhängig ist. Dabei macht es keinen Unterschied, ob das Abwasser in eine zentrale biologische Abwasserbehandlungsanlage auf dem Firmengelände oder in eine kommunale Kläranlage eingeleitet wird. Die Bedingungen für eine Vorbehandlung von Schadstoffen, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen, sind in beiden Fällen dieselben.

  BVT ist:
  - den Eintrag von Abwasserinhaltsstoffen in biologische Behandlungssysteme zu vermeiden, wenn sie zu Störungen dieser Systeme führen können;
  - Abwasserteilströme mit relevantem, nicht biologisch abbaubarem Anteil vor oder anstelle einer biologischen Behandlung mit Hilfe geeigneter Techniken zu behandeln. Diese Techniken sind im Abschnitt 3.3.4.2 beschrieben und in Tabelle 4.6 aufgelistet. Die letztendliche Auswahl des geeigneten Behandlungsverfahrens hängt ab von der tatsächlichen Situation, der Zusammensetzung des Abwasserstroms, des Zustandes der biologischen Abwasserbehandlungsanlage (sofern vorhanden), der Adaption ihrer Mikroorganismen und der Anforderungen durch den Vorfluter. Die Auswahl ist in jeder Hinsicht eine standortspezifische Angelegenheit.

    Abweichende Meinung (split view)
    Ein Mitgliedstaat vertrat die Meinung, dass das Kriterium "relevanter, nicht biologisch abbaubarer Anteil" genauer definiert werden muss, indem für die Abwasserströme eine Reihe indikativer Werte für den schwer abbaubaren TOC (s. Abschnitt 3.3.4.2) angegeben werden

  - der Einsatz von Techniken, die eine Stoffrückgewinnung ermöglichen (s. Tabelle 4.6):
    - NF / UO,
    - Adsorption unter Einsatz der bestgeeigneten Variante (Details s. Abschnitt 3.3.4.2.9),
    - Extraktion,
    - Destillation / Rektifikation,
    - Eindampfung,
    - Strippung;
  - die Beseitigung eines relevanten Ammoniakgehaltes aus Abwasserströmen am Ort des Entstehens, z. B. durch Luft- oder Dampfstrippung (s. Abschnitt 3.3.4.2.14);
  - der Einsatz von Techniken, die keines Zusatzbrennstoffes bedürfen (wenn eine Rückgewinnung nicht machbar ist und wenn auch andere Eliminierungsverfahren ausreichende Ergebnisse erzielen). Im Falle einer biologischen Endbehandlungsanlage kann es ausreichen, die refraktäre organische Fracht in biologisch abbaubare Stoffe zu spalten. Dazu dienen Verfahren wie (s. Tabelle 4.6):
    - chemische Oxidation (beim Einsatz von Chlor-haltigen Oxidationsmitteln ist sorgfältig zu prüfen, ob organische Chlorverbindungen gebildet werden),
    - chemische Reduktion,
    - chemische Hydrolyse;
  - der Einsatz von Nassoxidation und Abwasserverbrennung nur dann, wenn keine andere Möglichkeit zur Beseitigung von Toxizität oder Inhibitorwirkung besteht, oder wenn der Prozess selbstunterhaltend möglich ist, oder wenn dies die einzige Möglichkeit ist, ohne biologische Behandlung die Anforderungen an die Einleitung zu erfüllen
  - den Wasserverbrauch bei den folgenden Behandlungstechniken in Betracht zu ziehen, sofern dies von Umweltrelevanz ist:
    - Extraktion,
    - Destillation / Rektifikation,
    - Eindampfung,
    - Strippen,

die entweder beträchtliche Mengen an Kühlwasser erfordern, oder Nasswäschersysteme zur Schadstoffrückgewinnung aus der Gasphase benötigen. Sollte Wasserknappheit ein wichtiger Faktor sein, dann können "zweitbeste" Behandlungstechniken den Vorzug bei der Berücksichtigung als BVT erhalten.

- Biologisch abbaubare Stoffe

  BVT ist:
  - die Beseitigung biologisch abbaubarer Stoffe aus dem Abwasser durch Einsatz von biologischen Behandlungssystemen, wie sie in Abschnitt 3.3.4.3 und Tabelle 4.7 beschrieben sind, oder einer geeigneten Kombination dieser Systeme. Bei der Anwendung von anaeroben Prozessen ist es meist erforderlich, einen aeroben Behandlungsschritt nachzuschalten;
  - eine biologische Vorbehandlung, um die letzte Stufe der zentralen biologischen Abwasserbehandlungsanlage von relevanten Teilströmen mit hoher biologisch abbaubarer organischer Fracht zu entlasten, sofern dies machbar ist. Hierbei kann die Wahl auf eine anaerobe Behandlung fallen, bei der die Energie durch Verbrennen des entstehenden Methans genutzt werden kann. Ein weiterer Vorteil einer anaeroben Vorbehandlung ist der deutlich geringere Anfall an Überschussschlamm in der nachgeschalteten biologischen Abwasserbehandlungsanlage. Ein Anzeichen dafür, dass hochbelastete Teilströme eine biologische Vorbehandlung erfordern, liegt vor, wenn die CSB-Eliminationsleistung des Gesamtabwasserprozesses hoch ist, aber dennoch die Ableitkonzentration deutlich über den BVT-Werten liegt (s. Tabelle 4.8);
  - der Einsatz von Vor- oder Endbehandlungseinrichtungen (s. Tabelle 4.7), wenn Inhaltsstoffe mit geringer biologischer Abbaubarkeit (aber keine refraktären oder toxischen Stoffe) durch eine zentrale biologische Behandlung nicht ausreichend eliminiert werden. Geeignete Verfahren sind Festbettreaktoren, die eine längere Verweilzeit ermöglichen und somit eine höhere Abbaurate gewährleisten;
  - die Realisierung von Stickstoffeliminationstechniken (Nitrifikation / Denitrifikation), wie in Abschnitt 3.3.4.3.4 beschrieben, wenn das Abwasser eine relevante Stickstoffbelastung mit deutlich höherer Konzentration als der BVT-Wert in Tabelle 4.8 enthält. Beide beschriebenen Verfahren sind BVT. Unter günstigen Bedingungen ist es einfach, sie in bestehenden zentralen Abwasserbehandlungsanlagen nachzurüsten. Sind nur einzelne Teilströme mit einer beträchtlichen Stickstofffracht (Ammonium, Nitrat, Nitrit, Kjeldahl-N) belastet, so ist es besser, diese separat zu behandeln. Man spart Kosten, da kleine Nitrifikations- / Denitrifikationsanlagen nicht übermäßig kostspielig sind.

- Zentrale chemisch-mechanische Abwasserbehandlungsanlage

  Sind keine biologisch abbaubaren Schadstoffe vorhanden, dann ist BVT:
  - eine Kombination von chemischer (Neutralisation und Fällung von Abwasserinhaltsstoffen) und mechanischer Behandlung (Elimination nicht gelöster Stoffe, einschließlich Absiebung, Klärung und Filtration) als chemisch-mechanische Stufe.

- Zentrale biologische Abwasserbehandlungsanlage

  Beim Einsatz einer zentralen biologischen Abwasserbehandlungsanlage ist BVT:
  - die Vermeidung des Eintrags biologisch nicht abbaubarer Abwasserschadstoffe in eine zentrale biologische Behandlungsanlage, soweit diese zu Störungen im Behandlungssystem führen können und die betreffende Anlage nicht zu deren Behandlung geeignet ist;
  - die Pufferung des Abwassers vor der eigentlichen Behandlungsanlage, um die Schadstoffbelastung zu vergleichmäßigen und synergetische Effekte auszunutzen;
  - die Behandlung des ankommenden Abwassers gemäß Abschnitt 3.3.4.3.5 durch eine Kombination der nachfolgenden Maßnahmen:
    - Vorklärer mit vorgeschalteter Mischstation,
    - ein- oder zweistufige Belüftungseinrichtung (Becken oder Behälter) mit nachfolgender Klärstufe,
    - Filtration oder Luftflotation, um den Vorfluter vor schwer absetzbarem Klärschlamm zu schützen, z. B. Blähschlamm,
    - alternativ zu den Maßnahmen des 2. und 3. Spiegelstrichs: Belüftungsbecken oder -behälter mit eingetauchter MF- oder UF-Membran,
    - ein Festbett-Biofilter als weitere Option für die Endbehandlung von refraktärem CSB, falls die Festsetzungen der Genehmigung dies erforderlich machen.

  In der Regel liegt der BVT-Wert für den BSB nach der zentralen biologischen Behandlung bei < 20 mg/l. Im Falle des Belebtschlammverfahrens wird üblicherweise in einer biologischen Reinigungsstufe mit einer täglichen CSB-Belastung ≤ 0,25 kg/kg Schlamm gearbeitet (Schwachlaststufe).

	Chemische Reaktionen			Luftoxidation	
	Oxidation	**Reduktion**	**Hydrolyse**	**Nassoxidation**	**Oxidation mit überkritischem Wasser (SCWO)**
Zweck	Umsetzung von Schadstoffen mit H_2O_2 / UV oder Eisen(III)salze, O_3, O_3/UV, Cl_2, ClO_2, OCl^-	Umsetzung von Schadstoffen mit SO_2, $NaHSO_3$, $FeSO_4$, NaHS	Reaktion von organischen und anorganischen Schadstoffen mit Wasser, wobei Verbindungen kleinerer Moleküle gebildet werden	Reaktion mit O_2 in wäßriger Phase, bei hoher Temperatur und hohem Druck, normalerweise in Gegenwart eines Katalysators (s. Abschnitt 3.3.4.2.4)	Nassoxidation mit überkritischem Wasser, d. h. Druck >22,1 MPa, Temperatur >374 °C
Anwendung	Oxidation von anorganischen Stoffen; Oxidation von organischen Stoffen zum Schutz von biologischen Abwasserbehandlungsanlagen oder zur Überführung der Stoffe in biologische abbaubare; Kann biologische Behandlung ersetzen	Reduktion von anorganischen Stoffen	Abbau von nicht biologisch abbaubaren Stoffen in kleine biologisch abbaubare Verbindungen; Weiter Konzentrationsbereich (1 mg/l – 100 g/l)	Oxidation von organischen Verbindungen; Schutz von biologischen Abwasserbehandlungsanlagen vor schwer abbaubarem CSB; Überführung von refraktärem CSB in biologisch abbaubaren; Kann biologische Behandlung ersetzen	Zersetzt Schadstoffe mit geringer biologischer Abbaubarkeit und/oder hoher Toxizität; Kann biologische Behandlung ersetzen
Anwendungsgrenzen	UV-Bestrahlung erfordert Feststoff freie Lösungen; Vorsicht, wenn organische Schadstoffe mit chlorhaltigen Oxidationsmitteln behandelt werden sollen	Beschränkte Anwendbarkeit; Strenge Regelung von pH und Redoxpotential	Für Schadstoffe mit geringer Wasserlöslichkeit nicht geeignet	Nicht zu empfehlen bei niedrigen CSB-Konzentrationen; Fluorid < 10 mg/l Niedrige Salzfrachten (Korrosion)	
Verbrauch	Oxidationsmittel Mittel zum Abbau von überschüssigem Oxidationsmitel Energie	Reduktionsmittel; Mittel zum Abbau von überschüssigem Reduktionsmitel; Energie	Dampf / Heisswasser zum Erhitzen; Chemikalien zur Einstellung von pH und Redoxpotential; Energie	Luft oder Sauerstoff; Energie für Temperatur und Druck	Luft oder Sauerstoff; Energie für Temperatur und Druck
Medienübergreifende Effekte	Chlorhaltige Oxidationsmittel können mit organischen Schadstoffen zusätzlichen AOX bilden	Abgas muss zu nachgeschalteter Behandlung geleitet werden	Emissionen von geruchsintensiven oder flüchtigen Stoffen möglich	Wässrige und gasförmige Emissionen benötigen eventuell nachgeschaltete Behandlung	Wässrige und gasförmige Emissionen benötigen eventuell nachgeschaltete Behandlung
Raumbedarf					
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	TOC: >90 (s. Abschnitt 3.3.4.2.3)			CSB: 60-90 (Niederdruck) 99 (Hochdruck) (Details s. Abschnitt 3.3.4.2.4)	organische Verbindungen: >99
Erreichbare Emissionen [mg/l]					
Nachrüstbarkeit					

Tabelle 4.6: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für Schadstoffe, die sich nicht für eine biologische Behandlung eignen

	NF / UO	Adsorption	Extraktion
Zweck	Abtrennung der meisten Schadstoffe	Überführung löslicher Schadstoffe aus der wässrigen Phase an ein festes Adsorptionsmittel	Überführung löslicher Schadstoffe aus der wässrigen Phase in ein Lösemittel
Anwendung	Zum Erreichen eines hohen Reinheitsgrades für Rückführung und Wiedereinsatz des Wassers; Erhöhung der Schadstoffkonzentration für weitergehende Behandlungsanforderungen; Rückgewinnung ist möglich	Zur Entfernung von organischen nicht biologisch abbaubaren, gefärbten, riechenden und/oder toxischen Schadstoffen; Konzentrationsanreicherung für weitere Behandlungsmöglichkeiten (z. B. Verbrennung); Rückgewinnung ist möglich	Zur Entfernung von organischen nicht biologisch abbaubaren und/oder toxischen Schadstoffen bei hohen Konzentrationen; Als Vorbehandlung zur Adsorption zur Reduzierung der Zulauffracht; Rückgewinnung ist möglich; Als Endbehandlung nicht geeignet
Anwendungsgrenzen	Konzentrationen, bei denen der osmotische Druck nicht mehr handhabbar ist; Geringe thermische und chemische Widerstandsfähigkeit	Niedrige Schadstofffracht, weil sonst das Adsorptionsmittel zu schnell verbraucht ist; TSS-Gehalt begrenzt wegen Verstopfen; Wirksamkeit abhängig von den physikalischen Eigenschaften des Schadstoffs (geringe Wirksamkeit bei niedriger molarer Masse, hoher Polarität, hoher Löslichkeit)	Abwasser sollte frei sein von TSS und Emulsionen; Abhängig von der Eignung des Lösemittels und damit nur bedingt anwendbar
Verbrauch	Reinigungschemikalien; Hoher Energiebedarf	Adsorptionsmittel; Chemikalien zum Regenerieren; Energie für Pumpen and Regeneration (erhöhte Temperatur)	Ersatz von Lösemittelverlusten Pumpenergie; Energie für die anschließende Lösemittelaufarbeitung (z. B. Destillation / Rektifikation)
Medienübergreifende Effekte	Konzentrat benötigt weitere Behandlung, z. B. Extraktion, Verbrennung (sofern nicht rückgewonnen)	Abgas aus der Regeneration erfordert Behandlung; Regeneration erzeugt Rückstände (sofern nicht zurückgewonnen)	Abwasser erfordert Behandlung zur Entfernung des gelösten Lösemittels, z. B. Strippung; Sumpf aus Lösemittelrückgewinnung, sofern nicht zurückgewonnen, geht in die Verbrennung; Abgas aus der Extraktion und der Rückgewinnung erfordert Abgasbehandlung, z. B. Adsorption oder Verbrennung
Raumbedarf		Normalerweise mindestens zwei Kolonnen pro Anlage	
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	Hoher Wirkungsgrad (s. Abschnitt 3.3.4.2.8)	Hoher Wirkungsgrad, abhängig von Schadstoff (s. Abschnitt 3.3.4.2.9)	Guter Wirkungsgrad für spezielle Schadstoffe bei hoher Zulaufkonzentration
Erzielbare Emissionen [mg/l]			
Nachrüstbarkeit			

Tabelle 4.6: Fortsetzung

	Destillation / Rektifikation	Eindampfung	Strippung	Abwasserverbrennung
Zweck	Überführung flüchtiger Schadstoffe aus der Abwasserphase in die Dampfphase, die angereicherte Dampfphase wird anschließend kondensiert	Wasserdestillation mit Rückstand im Sumpf	Überführung von flüchtigen Schadstoffen in die Gasphase durch Einblasen von Luft oder Dampf in das Abwasser	Thermische Oxidation von Schadstoffen unter gleichzeitiger Eindampfung des Wasser, betrieben mit oder ohne Katalysator
Anwendung	Zur Rückgewinnung von großen Schadstoffmengen aus dem Abwasser; Als Vorbehandlung zur Entfernung der Hauptschadstoffe vor einer nachfolgenden Behandlung; Eingeschränkte Einsatzmöglichkeit	Aufkonzentrierung von Abwasserströmen zur Rückführung von Wertstoffen oder vor einer thermischen Verwertung	Entfernung von flüchtigen organischen und anorganischen Verbindungen; Wiederverwertung ist möglich	Entfernung von schädlichen oder hemmenden Schadstoffen, die anders nicht behandelt werden können oder die nicht ausreichend konzentriert vorliegen, damit eine Verbrennung sich selbst unterhält; als Eliminierungstechnologie
Anwendungsgrenzen	Hohe Zulaufkonzentration erforderlich; Unterschied der Siedepunkte von Wasser und flüchtigem Schadstoff muss groß genug sein	Schaumbildende Stoffe sind zu vermeiden; Nicht anwendbar auf flüchtige Schadstoffe	Flüssige Phase erfordert niedrigen TSS-Gehalt; Beschränkt auf flüchtige Schadstoffe	Halogen- und Schwefelgehalt erfordern eine spezielle Abgasbehandlung
Verbrauch	Dampf zum Heizen; Energie	Chemikalien im Falle einer Vorbehandlung; Dampf 5-16 kg Wasser/kg Dampf; Energie	Anti-fouling Mittel; Beim Einsatz von Dampf: 0,1-0,3 t/m^3 Energie 680 kW/m^3	Stützbrennstoff (bei geringen TOC-Konzentrationen); Energie
Medienübergreifende Effekte	Nachfolgende Behandlung erforderlich Abgas ist einer Abgasbehandlung zuzuführen, z. B. einer Verbrennung	Kondensat erfordert eventuell weitere Behandlung; Lärmemission	Gasstrom erfordert Behandlung (Wäsche, Adsorption, katalytische Oxidation, Verbrennung)	Bei niedrigem TOC-Gehalt hoher Energieverbrauch; Rauchgasemissionen
Raumbedarf		Vergleichsweise gering		
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	Gute Leistung bei speziellen Schadstoffen unter speziellen Bedingungen	Praktisch vollständige Schadstoffentfernung, sofern keine flüchtigen Schadstoffe vorhanden sind	Guter Wirkungsgrad (s. Abschnitt 3.3.4.2.14)	Nahezu 100 %-ige Reinigungsleistung bei organischen Verbindungen
Erzielbare Emissionen [mg/l]				
Nachrüstbarkeit				

Tabelle 4.6: Fortsetzung

	Anaerobe Biologie	Aerobe Biologie			
		Membran-Bioreaktor	Tropfkörper	Fließbett	Biofilter-Festbett
Zweck	Umsetzung von organischen Inhaltsstoffen mit Mikroorganismen unter Ausschluss von Luft (Sauerstoff)	Umsetzung von organischen Inhaltsstoffen mit Mikroorganismen in Gegenwart von gelöstem Sauerstoff, der in Form von Luft oder reinem Sauerstoff eingedüst wird (s. Abschnitt 3.3.4.3.3)			
Anwendung	Als Vorbehandlung bei hohen organischen Frachten und Strömen mit konstanter Qualität	Vorbehandlung bei hohen organischen Frachten; Endbehandlung in Teilströmen; Eingesetzt als zentrale Abwasserbehandlungsanlage	Als Teil einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage (Eingangs- oder Vorbehandlungsstufe) zur Minderung der leicht abbaubaren Schadstoffe und zur Verbesserung der Schlammqualität	Vorbehandlung bei hohen organischen Frachten; Endbehandlung bei kleinen Strömen	Unmittelbare Vorbehandlungsstufe oder als Endreinigung hinter Belebtschlammprozess der zentralen Abwasserbehandlungsanlage; Gute Bedingungen für langsam wachsende Mikroorganismen
Anwendungsgrenzen	Vermeidung von toxischen Stoffen, da der Prozess sehr empfindlich ist	Hohe Konzentrationen, auch von nicht toxischen Stoffen, sind zu vermeiden; Inhibitoren sind zu vermeiden; obwohl gut adaptierte Mikroorganismen können mit Inhibitoren zurechtkommen, wenn die Konzentration nicht zu hoch ist; Temperaturen höchstens bei 30-35 °C; Salzkonzentrationen sollten <30 g/l sein			
Verbrauch	Neutralisationsmittel; Energie	Luft oder Sauerstoff; Neutralisationsmittel; Flockungsmittel: 300-550 kg/t CSB; Nährstoffe: 23-42 kg/t CSB Energie: 9.5 kWh/m^3	Luft; Neutralisationsmittel; Energie	Luft; Neutralisationsmittel; Energie	Luft; Neutralisationsmittel (bei Einsatz als Vorbehandlung); Energie
Medienübergreifende Effekte	Biogas mit 70 % CH_4 kann als Brenngas eingesetzt werden Nur 10 % Überschussschlamm im Vergleich zur aeroben Biologie	Überschussschlamm etwa die zehnfache Menge von der der anaeroben Biologie, erfordert Behandlung; Hoher Energieeinsatz wegen Belüftung; Geruchs- und Lärmemissionen	Überschussschlamm	Überschussschlamm	Überschussschlamm; Keine Geruchsemissionen
Raumbedarf	Geringer als bei aerober Behandlung	Groß bei einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage	Verhältnismäßig gering	Verhältnismäßig gering	Verhältnismäßig gering
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	CSB: 75-90 Gemeinsam mit aerober Behandlung CSB: 95-97 BSB: 99-99,8	BSB: 97-99,5 CSB: 76-96 90-96 (Membran) Phenolindex: >99 Anorg. N_{gesamt}: 82 (Membran) NH_4-N: 96 (Membran)	BSB: 40-90 (1-stufig) 85-95 (2-stufig)	BSB: >98 CSB: 90	refraktärer CSB: 26-68 Phenolindex: 75-98 AOX: 55-98 anorg. N_{gesamt}: 4-50
Erzielbare Emissionen [mg/l]		TSS: 10 (zentrale Abwassergehandlungsanlage)			
Nachrüstbarkeit	Benötigt Gasbehälter oder Fackel für Methan	Abhängig von der Größe	einfach	einfach	einfach

Tabelle 4.7: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für biologische Behandlung

- Abwassereinleitung in Oberflächengewässer
  Nachdem das Abwasser die in den vorangegangenen Absätzen aufgeführten Behandlungsstufen durchlaufen hat, wird es in einen Vorfluter (Fluss, See oder Meer) eingeleitet.

  BVT sind eine geeignete Kombination der folgenden Maßnahmen:
  - bei der Einleitung ist alles zu vermeiden, was dem Flussbett, dem Ufer oder der Biosphäre des Vorfluters Schaden zufügen kann, z. B. eine übermäßige hydraulische Belastung oder ein toxisches Abwasser;
  - die Einleitungsstelle in ein Oberflächengewässer sollte, wenn möglich, so gewählt werden, dass das Abwasser optimal verteilt wird, um die Auswirkungen auf die wässrige Biosphäre so gering wie möglich zu halten. Diese Maßnahme soll keine Behandlungsverfahren ersetzen;
  - bei Abwasser, das nicht aus einer zentralen Abwasserbehandlungsanlage stammt, ist ein Ausgleich durchzuführen, um so die Auswirkungen auf den Vorfluter zu vermindern und vor dem Einleiten die Anforderungen an die Einleitung zu erfüllen;
  - die Einrichtung eines Abwasser-Überwachungssystem mit einer angemessenen Messfrequenz (z. B. zwischen 8- und 24-Stunden-Probennahme);
  - eine Toxizitätsabschätzung als ergänzendes Instrument, um so (mehr) Informationen über die Wirksamkeit der Minderungsmaßnahmen und/oder über die Gefahrenabschätzung für den Vorfluter zu erhalten. Die Anwendung einer Toxizitätsabschätzung, wie ihre tatsächliche Erfordernis, die anzuwendenden Methoden und die Planung, sollte von Fall zu Fall entschieden werden.

  BVT-Werte für die Einleitung von Abwasser in Oberflächengewässer sind in Tabelle 4.8 aufgeführt. Diese Werte sind als Emissionen ohne Verdünnung durch Niederschlagswasser und/oder unbelastetem Kühlwasser zu sehen. Um die beiden Strategien - mit oder ohne Einsatz einer zentralen biologischen Behandlungsanlage - besser vergleichen zu können, ist die CSB-Abbauleistung auf die Schadstoffrohfracht bezogen, d. h. die Fracht vor Behandlungs- und Rückführungs- / Rückgewinnungsverfahren.

Parameter [a]	Reinigungs-leistung [%]	Emissions-werte [mg/l] [b]
TSS		10-20 [c]
CSB	76-96 [d]	30–250
anorganisch N_{gesamt} [e]		5-25
P_{gesamt}		0,5-1,5 [f]
AOX		

[a] zu BSB siehe vorhergehenden Abschnitt über zentrale biologische Behandlung
[b] Tagesmittelwerte, außer TSS
[c] Monatsmittelwerte
[d] niedrige Reinigungsleistung bei niedrigen Schadstoffkonzentrationen
[e] Summe von NH_4-N, NO_2-N und NO_3-N (ein besserer Parameter wäre N_{gesamt}, TN_b. Wegen fehlender Informationen zu TN_b wird hier stattdessen anorganisch N_{gesamt} eingesetzt)
[f] unterer Bereich aus Nährstoffzufuhr in biologischen Abwasserbehandlungsanlagen, oberer Bereich aus Produktionsprozessen

Tabelle 4.8: BVT-Emissionswerte für Abwassereinleitung in einen Vorfluter

Für Schwermetalle konnten keine BVT-Werte festgestellt werden, die für den gesamten Chemiesektor repräsentativ gewesen wären. Die Gründe dafür sind unter anderem:

- Emissionswerte für Schwermetalle nach einer Behandlung am Ort des Entstehens sind in hohem Maße von dem Produktionsprozess abhängig, in dem sie erzeugt werden;
- die Werte sind abhängig von der vorliegenden Abwassermatrix;
- die Einleitkonzentrationen sind abhängig von dem Standort-spezifischen Abwassergemisch aus den verschiedenen Produktionsprozessen, da nach der Behandlung am Ort des Entstehens keine weitere Behandlung mehr folgt.

Als Ausgleich für die fehlenden BVT-Werte für die Abwassereinleitung von Schwermetallen sind in Annex 7.6.4 Beispiele für solche Einleitungen aufgeführt. Diese Beispiele wollen die Spannweite der Schwermetallemissionen von Chemiestandorten unterschiedlicher Komplexizität aufzeigen.

Abweichende Meinung (split view)
Ein Mitgliedstaat besteht darauf, auf der Grundlage der in Annex 7.6.4 angeführten Beispiele BVT-Werte für Schwermetalle anzugeben. Seiner Meinung nach können - wenn, wie oben dargelegt, eine Strategie der Vermeidung, Vorbehandlung und zentralen Behandlung verfolgt wird (s. den Absatz "Schwermetalle") - BVT-Werte für Schwermetalle angegeben werden, die für viele Chemiestandorte gültig sind. Folgende Langzeitmittelwerte (Jahresmittelwerte von 24-Stunden-Mischproben) könnten bei einigen beispielhaften Chemiestandorten an der Einleitungsstelle / der letzten Behandlungsstufe erreicht werden (ohne Verdünnung des Abwassers mit Niederschlags- oder Kühlwasser): Cd 0,02-0.833 µg/l; Hg 0,01-0,84 µg/l; Pb 10-100 µg/l; Cr 10-30 µg/l; Cu 20-60 µg/l; Ni 10-80 µg/l; Zn 4-174 µg/l. Man erklärt ferner, dass die Werte durch den Anteil der für Schwermetalle relevanten Produktionsvorgänge beeinflusst werden und somit vom Produktionsmix abhängig sind, was in bestimmten Fällen (insbesondere in der Feinchemikalienherstellung) höhere Werte zur Folge haben kann. Bei Einleitungen in kommunale Kanalnetze müsse die Wirkung der kommunalen Kläranlage berücksichtigt werden, so weit sicher gestellt ist, dass die Schwermetalle nicht in andere Umweltmedien verlagert werden.
Die TWG hat dieser Forderung nicht entsprochen mit der Begründung, dass es nicht sinnvoll wäre, BVT-Emissionswerte zu definieren, die durch spezifische Zusammensetzungen von Abwasserströmen in einzelnen Produktionsstätten beeinflusst sind. Dies würde zu Werten führen, von denen man nicht sagen könne, ob sie in der Realität Gültigkeit haben oder nicht. Aus diesem Grunde wird die abweichende Meinung (split view) aufgezeigt.

Die Situation der BVT-Werte für AOX ist vergleichbar mit der für Schwermetalle. Der spezielle Produktions-Mix an einem bestimmten Standort beeinflusst die eingeleitete AOX-Menge, so dass man keine für den gesamten Chemiesektor gültigen AOX-Werte erhalten kann. Darüber hinaus ist AOX in den meisten Mitgliedsstaaten noch kein Genehmigungsparameter. Das mag auch der Grund dafür sein, dass lediglich ein Mitgliedsstaat AOX-Daten für die Abwassereinleitung lieferte. Ab dem Jahr 2003 muss zu AOX im Rahmen von EPER regelmäßig berichtet werden. Die regelmäßige Mess- und Berichtspflicht zu AOX könnte demnach von diesem Zeitpunkt an ein Antrieb sein, Emissionswerte für AOX verfügbar zu machen. Bis dahin jedoch kann die TWG nicht zu einer Entscheidung über BVT-Werte für AOX kommen. Dennoch, die Notwendigkeit, Emissionswerte für diesen Parameter zu erhalten, wurde herausgestellt.

Abweichende Meinung (split view)
Ein Mitgliedstaat besteht darauf, auf der Grundlage der in Annex 7.6.2 angeführten Beispiele BVT-Werte für AOX zu benennen. Man erklärt, dass in diesem Mitgliedsstaat an einigen Chemiestandorten mit chlororganischer Produktion und zentraler Abwasserbehandlung AOX-Werte zwischen 0,16 und 1,7 mg/l erzielt werden.
Die TWG hat dieser Forderung nicht entsprochen. Bei den angeführten Beispielen (s. Annex 7.6.2) handele es sich um verschiedene statistische Datensätze, die eine Festlegung von BVT-Werten nicht zuließen. Es wurde sogar darauf hingewiesen, dass einer der als Beispiel angeführten niedrigsten AOX-Emissionswerte von einem Standort mit geringer Umweltleistung stammte, während der höchste Emissionswert von einem Standort mit einer sehr guten Umweltleistung gemeldet wurde. Unter diesen Bedingungen hielt die TWG es nicht für angemessen, BVT-Emissionswerte für AOX anzugeben. Aus diesem Grunde wird eine abweichende Meinung (split view) aufgezeigt.

Die in Tabelle 4.8 aufgeführten BVT-Werte geben die Emissionswerte nach einer zentralen biologischen Behandlung wieder. Wird das Abwasser in eine kommunale Kläranlage geleitet, ist nachzuweisen, z. B. durch geeignete Labortests oder andere Erkenntnisse, dass gleichwertige Ergebnisse erzielt werden können. Die dezentrale Behandlungsstrategie ist gleichwertig mit der biologischen Endbehandlung, wenn sie vergleichbare Ergebnisse erzielt.

- BVT für Schlammbehandlung
  Werden Schlämme aus Abwasseranlagen direkt am Chemiestandort behandelt, ist BVT:
  - der Betreib der in Abschnitt 3.4 beschriebenen Verfahren. Auch Deponierung sollte in Betracht gezogen werden;
  - Schlammeindickung (s. Abschnitt 3.4.1);
  - Schlammstabilisierung (s. Abschnitt 3.4.2), um eine weitergehende Behandlung oder eine Entsorgung zu ermöglichen;
  - so weit wie möglich der Einsatz von "Abfallenergie" aus chemischen Produktionsprozessen bei der thermischen Schlammbehandlung, z. B. Schlammtrocknung (s. Abschnitt 3.4.3);
  - der Betrieb einer geeigneten Abgasbehandlung beim Einsatz von Schlammverbrennung (s. Abschnitt 3.4.3).

  Die Schlammbehandlung außerhalb eines Chemiestandorts wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, da sie nicht Gegenstand des vorliegenden Dokuments ist. Dies bedeutet keinesfalls, dass eine Behandlung durch Subunternehmer außerhalb des Standorts nicht BVT wäre.

4.3.2 Abgas

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Bestimmung von BVT für die Abgasbehandlung an einem Chemiestandort.

BVT für prozessintegrierte Maßnahmen
Ebenso wie beim Abwasser sind prozessintegrierte Maßnahmen die bevorzugte Methode zur Vermeidung oder Verminderung der Verschmutzung von Abgas und Abluft. Sie sind allerdings im Allgemeinen produktions- oder prozessspezifisch und in Bezug auf ihre Anwendbarkeit besonders zu bewerten. Dies fällt in den Aufgabenbereich der vertikalen BREFs für den Chemiesektor sowie mit ihm verwandter Sektoren. Die in diesem Dokument getroffenen Entscheidungen zu BVT für prozessintegrierte Maßnahmen beziehen sich daher nur auf die generelle Notwendigkeit, solche Maßnahmen innerhalb einer Produktion einzurichten.

BVT ist:
- der Einsatz prozessintegrierter Maßnahmen an Stelle von "End-of-Pipe“ Techniken, wenn eine solche Option besteht (z. B. für NO_x aus Verbrennungsprozessen ist der Einsatz einer primären Minderungstechnik wie Low-NOx-Brenner einer sekundären Behandlungstechnik vorzuziehen);
- eine Bewertung bestehender Produktionsanlagen im Hinblick auf die Möglichkeit einer Nachrüstung von prozessintegrierten Maßnahmen. Besteht eine solche Option, sollte sie möglichst realisiert werden (spätestens jedoch, wenn größere Änderungen an der Anlage vorgenommen werden). Dabei spielt die Beachtung der Sicherheitsvorschriften eine entscheidende Rolle, da einige dieser Vorschriften eine Realisierung von prozessintegrierten Maßnahmen auf Grund von Explosions- oder Korrosionsgefahren eventuell nicht zulassen;
- eine Bewertung bestehender Produktionsanlagen im Hinblick auf die Möglichkeit zur Minderung von gasförmigen Schadstoffen an der Entstehungsstelle. Besteht eine solche Option, sollte diese möglichst (auch unter Sicherheitsbedingungen) realisiert werden. Eine Schadstoffminderung an der Entstehungsstelle verringert die zu behandelnde Abgasmenge. Übermäßig anfallende Abgasmengen bedingen den Bau unnötig großer Behandlungsanlagen, was aus Kostengründen nicht effektiv ist;
- bei Planung einer Neuanlage oder bei größeren Änderungen einer Altanlage alle Möglichkeiten für eine Schadstoffminderung an der Entstehungsstelle in Betracht zu ziehen.

BVT für die Abgaserfassung
Abgaserfassungssysteme werden eingebaut, um gasförmige Emissionen den entsprechenden Behandlungsanlagen zuzuleiten. Sie bestehen aus einer Kapselung der Emissionsquelle, Absaugvorrichtungen und Rohrleitungen.

BVT ist:
- den Gasstrom zur Behandlungsanlage durch größtmögliche Kapselung der Emissionsquellen zu minimieren. Hierbei haben jedoch die Prozessführung, Sicherheitsgesichtspunkte, Produktqualität und Gesundheitsbedenken den Vorrang (s. Abschnitt 2.2.2.4.2);

- Explosionsrisiken zu vermeiden durch:
  - den Einbau eines Entflammbarkeitsdetektors innerhalb des Erfassungssystems, wenn die Gefahr eines Auftretens zündfähiger Gemische groß ist;
  - Sicherstellen, dass die Konzentration des Gasgemisches stets unterhalb der unteren Explosionsgrenze (UEG) liegt. Dies geschieht durch Zugabe einer ausreichenden Menge Luft, um das Gasgemisch auf 25 % UEG zu begrenzen, oder durch Zugabe eines Inertgases (wie Stickstoff) an Stelle von Luft, oder durch Arbeiten unter Inertgasatmosphäre im Produktionsreaktor. Die andere Möglichkeit ist, das Gasgemisch sicher oberhalb der oberen Explosionsgrenze (OEG) zu fahren.
- eine geeignete Einrichtung einzubauen, um eine Zündung leicht entflammbarer Gas-Sauerstoff-Gemische zu vermeiden bzw. um deren Auswirkungen zu minimieren, z. B. durch Explosionssperren und Tauchtöpfen.

BVT für die Abgasbehandlung

Das Vorgehen, um zu BVT-Entscheidungen zu gelangen, folgt dem Weg der Schadstoffe gemäß Abschnitt 3.5 und wie in Abbildung 3.45 dargestellt. Örtliche Gegebenheiten wie Klima, Verfügbarkeit von Wasser, Energie, Rohstoffen und/oder das Vorhandensein von Abfallentsorgungs- oder -behandlungseinrichtungen, Unzugänglichkeit des Standortes oder Schwierigkeiten bei der Abfallentsorgung können üblicherweise eingesetzte Behandlungstechniken für einen bestimmten Chemiestandort ungeeignet machen. Dies kann es erforderlich machen, hierfür spezielle Behandlungsverfahren zu entwickeln.

Entsprechend ihrer Behandlung unterscheidet man bei Abgasquellen zwischen:

- Emissionsquellen niedriger Temperatur, wie Produktionsprozesse, Umgang mit Chemikalien (einschließlich emissionsverursachender Lagertätigkeiten), Produktaufarbeitung;
- Emissionsquellen hoher Temperatur, wie Verbrennungsprozesse, einschließlich Einrichtungen wie Kesselanlagen, Kraftwerke, Prozessbrenner sowie thermische und katalytische Oxidationsreaktoren.

Bei beiden Gruppen sind spezielle Schadstoffe zu berücksichtigen. Die erste Gruppe (Emissionsquellen niedriger Temperatur) kann enthalten:

- ausschließlich Staub / Schwebstoffe, d. h. in Luft fein verteilte feste Rohstoffe oder Produkte;
- VOC aus Stoffen, die in der Produktion eingesetzt werden oder aus einem Behälter ausdampfen, zusammen mit Staub oder ohne;
- flüchtige anorganische Verbindungen aus der Produktion oder Aufarbeitung; zusammen mit Staub oder ohne;
- eine Mischung aus VOC und anorganischen Verbindungen; mit oder ohne Staubgehalt;
- Nebel.

Die Behandlung durchläuft folgende Schritte:

- Schritt 1: Beseitigung größerer Mengen von Feststoffen oder Nebel vor einer nachgeschalteten Abgasbehandlung, wenn diese für hohe Staub- oder Nebelkonzentrationen nicht geeignet ist;
- Schritt 2: Beseitigung der gasförmigen Schadstoffe;
- Schritt 3: weitere Behandlung als Endreinigung, falls Schritt 2 den geforderten Emissionswert nicht erzielen kann.

Die zweite Gruppe (Emissionsquellen hoher Temperatur) enthält ein Gemisch von:

- Staub / Schwebstoffen,
- Halogenverbindungen (in der Hauptsache HCl, HF und Cl_2),
- Kohlenmonoxid,
- Schwefeloxide (in der Hauptsache SO_2),
- NO_x,
- eventuell Dioxine.

BVT für die Behandlung von Abgasen aus Produktionsprozessen, Umgang mit Stoffen und Produktaufarbeitung

- Staub / Schwebstoffe
  BVT ist eine geeignete Kombination folgender Maßnahmen:
  - die Beseitigung von Staub, Schwebstoffen und Aerosolen / Tröpfchen aus Abgasströmen durch Einsatz der in Abschnitt 3.5.3 und Tabelle 4.9 beschriebenen Techniken oder Kombinationen dieser Techniken,

gemäß der vorgegebenen Situation;
- eine Vorbehandlung zum Schutz von Endbehandlungseinrichtungen vor Beschädigung oder Überlastung. Beschädigungen können z. B. eintreten durch harte oder große Partikel oder durch Partikel, die Filter, Adsorptionskolonnen, Wäscheroberflächen, Membranoberflächen oder Katalysatoren verstopfen können;
- der Einsatz von Hochleistungsfiltern zur Beseitigung größerer Feinststaubmengen;
- das Nachschalten von Nebelfiltern beim Einsatz von Nasswäschern zur Endbehandlung (im HEAF ist der nachgeschaltete Nebelfilter bereits eingebaut);
- das Betreiben der Behandlungstechniken im geeigneten Druckbereich (Verhältnis Luftvolumenstrom zu Filtertuchfläche, Verhältnis Strömungsgeschwindigkeit zu Oberfläche) zum Schutz der Behälter vor Beschädigungen oder vor Staubemissionen aus Leckagen;
- Stoffrückgewinnung, sofern machbar;
- die Berücksichtigung des Energieverbrauchs durch eine kritische Bewertung des Einsatzes energieintensiver Verfahren. Das Ergebnis ist mit dem von energiefreien Verfahren oder dem von Verfahren mit niedrigem Energieeinsatz zu vergleichen;
- die Berücksichtigung des Wasserverbrauchs, vor allem in Gegenden, die unter Wasserknappheit leiden. Der Einsatz von Nasswäschen ist zu bewerten und das Ergebnis mit dem wasserfreier Verfahren zu vergleichen;
- der Einsatz von Waschwasser im Kreislauf. Der Kreislauf ist solange zu fahren, wie es ohne Abrasion oder Korrosion an der Apparatur möglich ist.

- <u>VOC</u>

  BVT ist eine geeignete Kombination folgender Maßnahmen:
  - die Beseitigung von VOC aus Abgasströmen mittels Verfahren (oder eine Kombination solcher Verfahren), die in den Abschnitten 3.5.1 und 3.5.2 sowie in Tabelle 4.10 aufgeführt sind;
  - der Einsatz von Verfahren zur Rückgewinnung von Rohstoffen und Lösemittel - so weit machbar - wie Kondensation, Membranabscheidung oder Adsorption. Bei Abgasströmen mit hohen VOC-Konzentrationen sind Vorbehandlungsverfahren wie Kondensation oder Membranabscheidung / Kondensation am besten geeignet. Man gewinnt so die Hauptfracht zurück, bevor diese der Adsorption, der Nasswäsche oder der Verbrennung zugeführt wird. Im Falle von Adsorption und Verbrennung kann dies auch eine Sicherheitsfrage sein, um so die VOC-Konzentration unter 25 % UEG zu halten;
  - die Berücksichtigung des Wasserverbrauchs (Prozess- und Kühlwasser) bei Verfahren wie Nasswäsche, Kondensation (mit Wasser als Kühlmittel), Adsorption (mit Einsatz von Wasser bei der Regeneration oder zur Kühlung des Abgases vor dem Eintritt in die Adsorptionskolonne) oder biologischer Behandlung (Wasser als Reaktionsmedium). Setzt man diese Verfahren ein, so sind sie einer Bewertung zu unterziehen und mit dem Einsatz wasserfreier Verfahren zu vergleichen. Sollte Wasserknappheit ein wichtiges Thema sein, können diese Verfahren unter bestimmten örtlichen Gegebenheiten ungeeignet sein;
  - der Einsatz von Eliminierungsverfahren sollten nur dann stattfinden, wenn eine Rückgewinnung nicht machbar ist, z. B. weil durch sehr niedrige VOC-Konzentrationen der Energie- oder Materialaufwand unverhältnismäßig zum ökologischen Nutzen wären;
  - die Untersuchung bestehender Abgasminderungsverfahren dahin gehend, ob eine Stoffrückgewinnung machbar ist. Bei positivem Ergebnis ist die entsprechende Technik einzurichten;
  - der Vorzug einer biologischen Behandlung gegenüber einem Verbrennungsprozess, wenn das Abgas geringe VOC-Konzentrationen enthält. Dies setzt voraus, dass die Zusammensetzung des Abgases und die klimatischen Gegebenheiten (s. Abschnitt 3.5.2.1) sowie Wasserspargründe dies zulassen. Der Brennstoffverbrauch für die Stützfeuerung bei einer Abgasverbrennung mit niedrigen VOC-Konzentrationen ist ein Nachteil, der jedoch aufgewogen werden kann, wenn keine andere Behandlung zum Erreichen der Umweltziele, wie sie z. B. durch gesetzliche Vorschriften gesteckt sind, möglich ist;
  - der Einsatz von Abgasverbrennung, besonders wenn ein autothermer Betrieb möglich ist, wenn gefährliche Stoffe eliminiert werden müssen oder wenn andere, ebenso wirksame Verfahren nicht verfügbar sind;
  - der Vorzug der katalytischen gegenüber der thermischen Nachverbrennung, sofern dies machbar und ökologisch vorteilhaft ist. Der wesentlich geringere NO_x-Gehalt im emittierten Rauchgas, die geringere Betriebstemperatur und der geringere Energiebedarf lassen die katalytische Nachverbrennung vorteilhafter erscheinen;
  - der Betrieb von Verbrennungsverfahren nach Möglichkeit unter Energierückgewinnung (Gasmotor, regenerative und rekuperative Verbrennung);

- der Einsatz einer thermischen Nachverbrennung, wenn eine katalytische nicht anwendbar ist, z. B. wegen Abgasinhaltsstoffen, die als Katalysatorgift wirken, oder weil wegen geringeren Abbaugrades die katalytische Oxidation nicht ausreicht, die entsprechenden VOC genügend zu eliminieren;
- die Errichtung einer Abgasbehandlung hinter der thermischen Nachverbrennung, wenn aufgrund der Inhaltsstoffe des Abgases, das der thermischen Nachverbrennung unterzogen wurde, mit beträchtlichen Mengen an Schadstoffen zu rechnen ist, wie SO_2, HCl, NO_x. Dioxine sind bei der Abgasverbrennung in der Regel kein Thema.
- Abfackeln nur dann, wenn überschüssige brennbare Gase (wie sie beispielsweise durch Wartungsarbeiten oder Systemstörungen bzw. an nicht an einem Behandlungssystem angeschlossenen, weit abgelegenen Absaugvorrichtungen entstehen können) sicher beseitigt werden müssen;
- der Einsatz von Bodenfackeln nur dann, wenn keine gefährlichen Stoffe im Rauchgas zu erwarten sind. Wenn, entgegen der Aussage im vorhergehenden Spiegelstrich, ein Abfackeln erforderlich ist, so sind die Möglichkeiten für eine Wärmerückgewinnung und eine „low-NO_x-Verbrennung“ zu prüfen. Bei positivem Ergebnis ist die entsprechende Ausrüstung zu installieren.

- <u>Andere Verbindungen als VOC</u>
  BVT ist:
  - die Entfernung dieser Abgasschadstoffe (Halogenwasserstoffe, Cl_2, SO_2, H_2S, CS_2, COS, NH_3, HCN, NO_x, CO, Hg) durch den Einsatz geeigneter, in Tabelle 4.10 aufgelisteter Verfahren. Geeignete Verfahren sind:
    - Nasswäsche (Wasser, saure oder alkalische Lösungen) bei Halogenwasserstoffen, Cl_2, SO_2, H_2S, NH_3
    - Wäsche mit nichtwässrigen Lösemitteln bei CS_2, COS
    - Adsorption für CS_2, COS, Hg
    - biologische Gasbehandlung bei NH_3, H2S, CS_2
    - Verbrennung bei H_2S, CS_2, COS, HCN, CO
    - SNCR oder SCR bei NO_x.
  - die Rückgewinnung von Chlorwasserstoff, sofern realisierbar, durch den Einsatz von Wasser als Waschmedium in der ersten Reinigungsstufe, um eine Salzsäurelösung zu erhalten, die als Rohstoff wieder eingesetzt werden kann;
  - die Rückgewinnung von NH_3, sofern realisierbar, mit einer Technik, die dies ermöglicht.

  Die Verfahren, die als BVT zu betrachten sind, sind in Tabelle 4.10 aufgelistet

Die TWG kam nicht zu Schlussfolgerungen bezüglich BVT-Emissionswerten für Abgase aus Produktionsprozessen. Es wurde empfohlen, diese Aufgabe den entsprechenden vertikalen BREFs zu überlassen, weil diese Werte als prozessspezifisch angesehen wurden. Somit konnten keine Werte für den gesamten Chemiesektor angegeben werden.

	Abscheider	Zyklon (trocken und nass)	Elektrostatischer Abscheider (trocken und nass) (ESP)	Nassentstauber [a]
Zweck	Schwerkraftabscheidung	Schwerkraftabscheidung mit Hilfe von Zentrifugalkräften	Abscheidung durch elektrisches Feld	Stoffüberführung von der Gas- in die Flüssigphase
Anwendung	Verschiedenen Filtersystemen vorgeschaltet zur Vermeidung von Mitschleppen oder Abrasion (keine eigenständige Technik); Nicht geeignet für Rauchgas; Im Prinzip Rückgewinnung möglich	Behandlung von Staub als Vorreinigung vor ESP oder Gewebefilder (keine eigenständige Technik); Nach Sprühtrocknen, Mahlen, Pulverisieren und Kalzinieren; Geeignet für Rauchgase; Im Prinzip Rückgewinnung möglich	Als Endbehandlung für Staub; Nach Dampfkesseln in der chemischen Industrie, Raffinerien, Verbrennungs- und Einspeisesystemen; Anwendbar für nasse und zähe Stoffe, entflammbare Gemische (s. Abschnitt 3.5.3.3), Säurenebel (Nass-ESP); Im Prinzip Rückgewinnung möglich	Als Endbehandlung für Staub; In Abhängigkeit von Verfahrensvariante für Schwebstaub / Feinstaub bis hin zu <$PM_{2.5}$ und PM_{HAP}; Anwendung s. Tabelle 3.16; Im Prinzip Rückgewinnung möglich; Auch anwendbar auf Gasbeseitigung (VOC, anorganische Verbindungen)
Anwendungsgrenzen	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 100.000 Nm^3/h; Staubgehalt: keine Beschränkung; Korngröße: > PM_{50}, aber auch bis zu PM_{10} Temperatur hängt vom Gerätematerial ab, normalerweise bis zu 540 °C	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 100.000 Nm^3/h (Einzelanlage) bis zu 180.000 Nm^3/h (Mehrfachanlage); Staubgehalt : bis zu 16.000 g/Nm^3; Korngröße: bis zu $PM_{2.5}$; Temperatur hängt vom Gerätematerial ab, eventuell >1.200 °C	Strömungsgeschwindigkeit: sehr hoch, je nach Verfahrensvariante bis zu 1.800.000 Nm^3/h; Staubgehalt: 1-10 g/Nm^3 (Draht-Röhre) 2-110 g/Nm^3 (Draht-Platte) Korngröße: >$PM_{1.0}$ Temperatur: bis zu 700 °C (trocken) <90 °C (nass) Sp. Widerstand: $5x10^3$-$2x10^{10}$ Ohm cm Nicht anwendbar für Hg	Strömungsgeschwindigkeit: je nach Verfahrensvariante bis zu 170.000 Nm^3/h; Staubgehalt: s. Tabelle 3.16; Hohe Staubbeladung bei Plattenwäscher, Sprühturm, Wirbelwäscher, Venturi-Wäscher; Temperatur: s. Tabelle 3.16
Verbrauch	Energie: nur für Gebläse; Druckverlust: <0,5 kPa	Energie: 0,25-1,5 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 0,5-2,5 kPa	Wasser bei Nass-ESP; Energie: 0,5-2 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 0,05-0,5 kPa	Wasser für Wäscher: 0,5-5 l/Nm^3; Energie: 1-6 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 3-20 kPa (Venturi)
Medienübergreifende Effekte	Entsorgung von Staub	Entsorgung von Staub; Lärmemissionen	Entsorgung von Staub oder Abwasser (Nass-ESP)	Suspensionen, die weitere Abtrennbehandlung erfordern; Lärmemissionen
Raumbedarf	Gering			
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	10-90 (abhängig von Korngröße und Zulaufkonzentration)	PM 80-99 PM_{10} 60-95 PM_5 80-95 $PM_{2.5}$ 20-70	PM 99-99.2 PM_{10} 97.1-99.4 $PM_{2.5}$ 96-99.2 (Trocken- und Nass-ESP)	PM 50-99 je nach Verfahren VOC 50-95 je nach Verfahren SO_2 80-99 (s. Tabelle 3.17)
Erzielbare Emissionen [mg/Nm^3]			Staub: 5-15	
Nachrüstbarkeit	Normalerweise integriert			

[a] Näheres im zugehörigen Kapitel

Tabelle 4.9: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren für die Staubreinigung in normalen Abgasströmen

	Gewebefilter	Zweistufiger Staubfilter	Absolutfilter (HEPA-Filter)	Hochleistungsfilter	Nebelabscheider
Zweck	Filtertechnik; Filterkuchen erhöht Wirksamkeit	Filtertechnik, Material: Metallgewebe, Metallnetz	Filtertechnik, Material: Papier- oder Glasfasermatten mit hoher Packungsdichte	Filtertechnik, Flachbettfilter	Filtertechnik, Netzauflagefilter (mesh pad filter) aus metallischer oder synthetischer Faser
Anwendung	Beseitigung von Schwebstaub PM <$PM_{2.5}$ als Endbehandlung; Auffangen von Schwebstaub, der für ESP ungeeignet ist; Bei Einspritzungssystem (Rauchgas); Geeignet für Rauchgas; Prinzipiell Rückgewinnung möglich	Beseitigung von Schwebstaub als Endbehandlung; Bei Einspritzungssystem (Rauchgas); Geeignet für Rauchgas; Prinzipiell Rückgewinnung möglich	Beseitigung von Feinststaub zwischen $PM_{0.12}$ and $PM_{0.3}$; Nachgeschaltet hinter ESP oder Gewebefilter als Endbehandlung, wenn hohe Auffangwirkung gefordert; Prinzipiell Rückgewinnung möglich	Beseitigung von Aerosolen wie Öl, Weichmacher, kondensierbare VOC; nachgeschalteter Nebelfilter und Tropfenabscheider erforderlich	Beseitigung von Aerosolen und Tröpfchen; Schutz von nachfolgenden Einrichtungen zur Vermeidung von Reibungsverschleiß; Primäre Auffangeinrichtung um kleinere Partikel anderen Behandlungsverfahren zu überlassen; hinter Nasswäscher
Anwendungsgrenzen	Große Partikel müssen vorher aufgefangen werden; Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 1800000 Nm^3/h; Temperatur je nach Gewebeart (s. Tabelle 3.18), oberhalb Taupunkt; Staubgehalt bis zu 230 g/Nm^3; Klebrigen Staub vermeiden	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 75.000 Nm^3/h pro Modul; Temperatur: bis zu 400 °C; Staubgehalt: keine Beschränkungen	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 3.600 Nm^3/h pro Modul; Temperatur: <200 °C <530 °C (Keramik) oberhalb Taupunkt; Staubgehalt: 1-30 g/Nm^3; Feuchte Umgebung vermeiden	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 25.000 Nm^3/h	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 150000 Nm^3/h; Temperatur <170 °C; Staubgehalt <1 mg/Nm^3
Verbrauch	Pressluft; Energie: 0,2-2 kWh/1000 Nm^3; Druckverlust: 0,5-2,5 kPa 5-50 kPa (Keramik)	Pressluft; Energie: 1,5 kWh/1000 Nm^3; Druckverlust: 0,5-2,5 kPa	Energie: <0,1 kWh/1000 Nm^3; Druckverlust: 0,05-0,25 kPa	Energie: <0,1 kWh/1000 Nm^3 Druckverlust: 8 kPa	Energie; Druckverlust 2,5-9,0 kPa
Medienübergreifende Effekte	Entsorgung von Staub	Entsorgung von Staub	Entsorgung von beladenen Filtermoduln	Entsorgung von beladenen Filterrollen	Entsorgung von Waschflüssigkeit und belandenem Filtermaterial
Raumbedarf					
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	Staub 99-99.9		$PM_{0.01}$ >99.99 $PM_{0.1}$ nahezu vollständig	Tröpfchen 99 Aerosole 99	Staub 99 Aerosole 99
Erreichbare Emissionen [mg/Nm^3]	Staub 2-10 1 (Keramikfilter)	Staub 1 (unabhängig vom Zulauf)	Schwebstaub 0,0001		

Tabelle 4.9: Fortsetzung

	Nasswäsche (s. Abschnitt 3.5.1.4)	Adsorption	Kondensation	Membranabscheidung
Zweck	Stoffüberführung aus der Gas- in die Flüssigphase	Stoffüberführung aus der Gasphase an eine feste Oberfläche	Verflüssigen durch Kühlung	Permeation durch eine Membranoberfläche
Anwendung	Behandlung von VOC, anorganischen Verbindungen und auch von Staub, in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Waschflüssigkeit (Wasser, saure oder alkalische Lösung), 1-oder 2-stufig; Anwendung s. Abschnitt 3.5.1.4; Grundsätzlich Rückgewinnung durch Desorption mögllich	Beseitigung von VOC, geruchsintensiven Stoffen, Dioxinen, usw.; Polizeifilter hinter Endbehandlung; Verschiedene Varianten s. Abschnitt 3.5.1.3; Grundsätzlich Rückgewinnung nach Regeneration möglich	Rückgewinnung von VOC aus konzentriertem Abgasstrom; Vorbehandlung vor Adsorption, Wäsche, Eliminationssystemen; Nachbehandlung von konzentriertem Gasstrom aus Membranen oder Abwasserstrippung	Rückgewinnung von VOC oder Brennstoffdämpfen; Anreicherung von VOC-Gasströmen, um sie für eine Behandlung (z. B. Kondensation) zugänglich zu machen oder für die Verbrennung zu nutzen
Anwendungsgrenzen	Strömungsgeschwindigkeiten s. Abschnitt 3.5.1.4; Temperaturen bevorzugt unter 40 °C für Gaswäsche mit Wasser ohne chemische Reaktion; Staubbeladung: je nach Behandlungsvariante, s. Abschnitt 3.5.1.4	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 100.000 Nm^3/h; Temperatur: <80 °C (A-Kohle) < 250 °C (Zeolite) VOC Gehalt: <25 % UEG Staubbeladung: niedrig	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 100.000 Nm^3/h; <5000 Nm^3/h (für Tiefkühlkondensation); Temperatur: <80 °C; Begrenzung wegen Einfrierens und anschließender Verstopfung; Staubbeladung: niedrig (<50 mg/Nm^3)	Strömungsgeschwindigkeit: je nach Membranoberfläche; Temperatur und Druck abhängig von Membranwerkstoff; Staubbeladung: sehr niedrig; VOC-Beladung: unbegrenzt
Verbrauch	Wäscherwasser, Kühlwasser; Chemikalien (Säuren, Alkalien, Oxidationsmittel); Energie 0,2-1 kWh/1.000 Nm^3; Strippdampf (Desorption) Druckverlust 0,4-0,8 kPa	Dampf oder Stickstoff (Desorption); Kühlwasser (Kondensation); Energie 35-260 kWh/t Lösemittel ; Druckverlust: 2-5 kPa	Kühlmittel (Luft, Wasser, Salzsole, Ammoniaksole, flüssiger Stickstoff); Energie: 70 kWh/1.000 Nm^3; (Tiefkühlkondensation) Druckverlust: 0,1-0,2 kPa	Energie: 250 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 0,1-1 MPa
Medienübergreifende Effekte	Zu behandelndes Abwasser; Energie and Emissionen aus Regeneration	Abwasser aus Regeneration; Entsorgung des Adsorptionsmittels	Normalerweise anschließend an Kondensation weitere Behandlung erforderlich	Weitere Behandlung des Permeats
Raumbedarf				
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	VOC 50-99 anorganische Verbindungen 90-99 SO_2 80-99	VOC 80-95 Geruch 80-95 H_2S 80-95		VOC bis zu 99,9
Erzielbare Emissionen [mg/Nm^3]	HF <1 HCl <10 (<50 mit Wasser) SO_2 <40	Hg <0,05 Dioxine <0,1 ng/Nm^3 TE	s. Abschnitt 3.5.1.2	
Nachrüstbarkeit	Verhältnismäßig einfach	Verhältnismäßig einfach	s. Abschnitt 3.5.1.2	

Tabelle 4.10: Mit BVT verbundene Behandlungsverfahren fürdie Beseitigung von VOC und anorganischen Verbindungen aus normalen Abgasströmen

	Biologische Behandlung (Biofiltration / -wäsche / -rieselbettverfahren)	Thermische Oxidation	Katalytische Oxidation	Gasmotor / Dampfkessel
Zweck	Biologischer Abbau mittels Mikroorganismen	Oxidation mit Sauerstoff (Luft) durch Erhitzen eines Gasstroms oberhalb seines Zündpunktes	Oxidation mit Sauerstoff (Luft), unter Einsatz eines Katalysators zum Senken des Zündpunktes	Abgasverbrennung mit Energierückgewinnung
Anwendung	Beseitigung niedriger Konzentrationen von wasserlöslichen Schadstoffen: NH_3, Aminen, Kohlenwasserstoffe, H_2S, Toluol, Styrol, Geruch	Emissionen von allen VOC-Quellen, besonders geeignet für autotherme VOC-Konzentrationen und als Endbehandlung für gefährliche Stoffe	Gleiche Anwendung wie thermische Oxidation, Schadstoffe beschränkt auf solche, die nicht toxisch für den Katalysator sind; Mit oder ohne Wärmerückgewinnung	Abgasströme, die geeignet für Gasmotoren sind; nachgeschalteter Generator zur Stromerzeugung (s. Abschnitt 3.5.2.4)
Anwendungsgrenzen	s. Abschnitte 3.5.2.1 bis 3.5.2.3; Nicht geeignet für wechselnde Inhaltsstoffe; NH_3 kann Probleme verursachen; Frost, Regen und hohe Umgebungstemperaturen beeinflussen das Filtermaterial	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 86.000 Nm^3/h; Temperaturbereich: 800-1.000°C 980-1.200 °C (gefährliche Stoffe) VOC: <25 % UEG	Strömungsgeschwindigkeit: bis zu 86.000 Nm^3/h; Temperaturbereich: 300-500 °C; VOC: <25 % UEG	Relativ niedrige Verbrennungstemperatur; Begrenzung bei Abgaszusammensetzung, wenn korrosive Verbindungen oder Zwischenverbindungen enthalten sind
Verbrauch	Wasser (für Wäscher und Rieselbett); Chemikalien (Nährstoffe, pH-Einstellung) Energie: <1 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 0,2-2 kPa	Brennstoff während des Anfahrens und bei nicht-autothermen Bedingungen; Energie: 3-8 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 1-5 kPa	Brennstoff während des Anfahrens und bei nicht-autothermen Bedingungen; Energie: 1-2 kWh/1.000 Nm^3; Druckverlust: 1-5 kPa	Gekoppelt mit Dampfkessel zur Dampferzeugung
Medienübergreifende Effekte	Entsorgung von Filtermaterial; Abwasser aus Wäsche und Biorieselbettverfahren; Geruchsemissionen aus Wäsche und Biorieselbettverfahren	CO und NO_x im Rauchgas; Cl- und S-Gehalt erfordern Rauchgasbehandlung; Dioxine sind normalerweise unter optimierten Bedingungen kein Problem (s. Abschnitt 3.5.2.4)	Sehr wenig NO_x im Rauchgas (ca. 15 mg/Nm^3); Cl- und S-Gehalt erfordern Rauchgasbehandlung; Dioxine sind normalerweise kein Problem	Niedrige Verbrennungstemperatur mit wenig NO_x; CO im Rauchgas wird katalytisch gemindert
Erzielbare Leistung [% Schadstoffelimination]	VOC 75-99 anorganisch 80-95 (alle) Geruch 70-95 Einzelheiten s. Abschnitte 3.5.2.1 bis 3.5.2.3	VOC 95-99	VOC 90-99 CO >98 Geruch 80-95	
Erzielbare Emissionen [mg/Nm^3]		TOC 1-4		

Tabelle 4.10: Fortsetzung

BVT für die Rauchgasbehandlung

BVT für die Entstaubung ist:

- der Einsatz eines elektrostatischen Abscheiders oder eines Gewebefilters (hinter dem Wärmeaustauscher, bei 120-150 °C) oder
- der Einsatz der katalytischer Filtration oder
- der Einsatz einer Nasswäsche.

BVT für die Beseitigung von HCl, HF und SO_2 ist:

- diese mittels einer zweistufigen Nasswäsche zurück zu gewinnen. In der ersten Stufe wird Wasser oder ein saures Waschmedium zur Beseitigung von HF und HCl im Kreislauf gefahren. In der zweiten Stufe wird eine Calciumcarbonatsuspension zur Beseitigung von SO_2 als Calciumsulfat (nach Eindüsung von Luft) eingesetzt. Sowohl HCl als auch Calciumsulfat können als konzentrierte Rohsalzsäure und Rohgips zurück gewonnen werden. Es wird auch eine zweistufige Nasswäsche ohne Stoffrückgewinnung zur Abtrennung von Chlorid- und Fluorid-Ionen vor der Entschwefelung eingesetzt, oder
- diese mittels trockener oder halbtrockener oder nasser Sorptionsmitteleinspritzung (s. Abschnitt 3.5.4.1) zu entfernen. Der erzeugte Staub wird dabei zusammen mit dem Staub aus der Verbrennung beseitigt. Allerdings hat sich die Nasswäsche in der Regel als das wirksamste Minderungs- als auch Rückgewinnungsverfahren erwiesen.

Es gibt noch weitere Rauchgasentschwefelungsverfahren, die hauptsächlich in Kraftwerken eingesetzt werden. Diese sind Teil des BREFs über Großkraftwerke

BVT zur Beseitigung von NO_x ist:

- das SCR-Verfahren an Stelle des SNCR-Verfahrens auf Grund seiner besseren Reinigungswirkung und Umweltleistung (zumindest bei größeren Anlagen) einzusetzen (s. Abschnitt 3.5.4.2). Bei bestehenden Anlagen, die das SNCR-Verfahren betreiben, könnte eine Umstellung im Zuge größerer Änderungen an der Verbrennungsanlage erfolgen. Auch wenn das SCR-Verfahren als BVT im allgemeinen Sinne betrachtet wird, gibt es Einzelfälle, in denen das SNCR-Verfahren die technisch und wirtschaftlich bessere Lösung darstellt (dies gilt insbesondere für kleinere Anlagen). Andere Maßnahmen sind vor dem Hintergrund zu bewerten, ob mit ihnen insgesamt größere Verbesserungen erzielt werden können als durch eine Nachrüstung der SNCR-Technik.

Es sind noch weitere DeNOx-Prozesse im Einsatz, z. B. verschiedene Verfahren, die gleichzeitig SO_2 und NO_x beseitigen. Diese sind ebenfalls BVT, sofern sie die gleichen Leistungen erzielen.

Ist mit dem Auftreten von Dioxinen zu rechnen, so ist es BVT:

- Dioxine durch Adsorption an Kohlefilter, die der Rauchgasbehandlung nachgeschaltet sind, zu eliminieren.

Verfahren, die vergleichbare Ergebnisse erzielen (s. Tabelle 4.11), sind ebenfalls BVT.

BVT-Emissionswerte und die Minderungsleistung für Rauchgasreinigung sind in Tabelle 4.11 aufgelistet.

Parameter	Emissionen [mg/Nm^3] [1]
Staub / Schwebstoffe	<5-15
HCl	<10
HF	<1
SO_2	<40-150 [2]
NO_x (Gaskessel/-erhitzer)	20-150 [3]
NO_x (Ölkessel/-erhitzer)	55-300 [3]
NH_3 [4]	<5 [5]
Dioxine	0,1 ng/Nm^3 TE

[1] Halbstundenmittel, Referenzsauerstoffgehalt 3 %
[2] unterer Bereich für gasförmige Brennstoffe, oberer Bereich für flüssige Brennstoffe
[3] höhere Werte für kleine Anlagen, die SNCR einsetzen
[4] NH_3 Schlupf bei SCR
[5] Wert für neue Katalysatoren, höhere NH_3 –Emissionen beim Altern des Katalysators

Tabelle 4.11: BVT-Emissionswerte für die Rauchgasreinigung im Chemiesektor

5 IN DER ENTWICKLUNG BEFINDLICHE TECHNIKEN

Unter einer in der Entwicklung befindlichen Technik wird in diesem Dokument eine Technik verstanden, die bislang am Markt nicht verfügbar oder die noch nicht über den Betrieb in einer Pilotanlage hinausgekommen ist, aber von der erwartet werden kann, zukünftig im Chemiesektor im großtechnischen Maßstab eingesetzt zu werden.

Die nachfolgend beschriebenen Techniken sind in anderen Industriesektoren bereits in einem bestimmten Umfang unter spezifischen Bedingungen im Einsatz. Es gibt jedoch noch keinen Hinweis darauf, dass sie im Chemiesektor unter den gegebenen Betriebsbedingungen erfolgreich eingeführt wurden, aber es steht zu erwarten, dass dies zukünftig der Fall sein wird.

BIOLOGISCHE ENTFERNUNG VON SCHWEFELDIOXID AUS DEM ABGAS

Das System zur biologischen Schwefeldioxidentfernung besteht aus einer Kombination aus Abgaswäscher (Absorber) und biologischer Abwasserbehandlungsanlage. Der Schwefeldioxid-haltige Abgasstrom wird im Absorber mit dem Waschwasser in Kontakt gebracht. Es entsteht eine Mischung aus Sulfit und Sulfat. Im nachgeschalteten anaeroben biologischen Verfahren wird diese Mischung auf biologischem Wege in Sulfid überführt. Im nachfolgenden aeroben Schritt wird das Sulfid in elementaren Schwefel umgewandelt, der abgetrennt wird und das überstehende Wasser wird zum Wäscher rückgeführt.

Wegen der vorhandenen Sulfidionen werden Schwermetalle als Sulfide ausgefällt und somit auch entfernt.

NIEDERTEMPERATUROXIDATION VON NO_X

Die Niedertemperaturoxidation von NO_x besteht aus der Kombination eines Oxidationsverfahrens (mit Ozon als Oxidationsmittel) und der Gaswäsche (mit Wasser oder alkalischer Lösung als Waschflüssigkeit). Das Ozon (das vor Ort in einem Hochspannungssystem erzeugt wird) reagiert in einem Rohrreaktor mit NO und NO_2, wodurch hochlösliches N_2O_5 entsteht, das anschließend in einem Gas-Nasswäscher unter Bildung von Salpetersäure entfernt wird. Es sind sehr niedrige Emissionsniveaus für NO_x, SO_x und HCl (5,5, 10 bzw. 5-10 ppm) zu erwarten.

Die wichtigsten Umweltbelange bestehen im Energiebedarf für die Ozonerzeugung und, falls erforderlich, in der Herstellung und/oder Lagerung von reinem trockenem Sauerstoff sowie im Bedarf einer unverzichtbaren Menge an Wasser für die Waschflüssigkeit.

6 ABSCHLIESSENDE BEMERKUNGEN

Die Themen dieses Kapitels sind:

- der zeitliche Ablauf der Arbeiten,
- Informationsquellen und Verfügbarkeit von Informationen,
- der Umfang des Konsenses in der TWG,
- Empfehlungen für künftige Arbeiten.

ZEITLICHER ABLAUF DER ARBEITEN

Die Arbeiten an diesem BVT-Merkblatt haben fast drei Jahre gedauert. Die wichtigsten Etappen waren:

- 12.-14. April 1999: erste Sitzung der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) in Sevilla.
- Mai 2000: ein erster Entwurf (Kapitel 1 – 3) wurde den Mitgliedern der TWG zur Konsultation übermittelt. Dieser enthielt
  - allgemeine grundlegende Informationen über Abwasser und Abgas,
  - Informationen über Abwasser- und Abgasmanagement,
  - Informationen über übliche Behandlungsverfahren (einschließlich konkreter Leistungsdaten).

  Die Mitglieder der TWG legten im Laufe des Konsultationsverfahrens weitere Informationen vor.
- März 2001: ein zweiter Entwurf (Kapitel 1-5 plus Anhänge) wurde den Mitgliedern der TWG zur Konsultation übermittelt. Aufgrund der Informationen, die aus den Beratungen der TWG hervorgegangen waren, sowie aufgrund weiterer Informationen aus anderen Quellen wurden das Kapitel „Allgemeine Informationen“ wie auch das Kapitel zum Thema Management komplett überarbeitet; in das Kapitel über die Behandlungsverfahren wurden zusätzliche Angaben aufgenommen. Ferner wurde ein Kapitel zu den Schlussfolgerungen bezüglich BVT hinzugefügt, die aus den Informationen der drei vorangegangenen Kapitel abgeleitet worden waren.
- 27.-29. Juni 2001: zweite Sitzung der TWG in Sevilla
  In dieser Sitzung wurde eine Reihe von Themen – in erster Linie im Zusammenhang mit Kapitel 4 „Schlussfolgerungen bezüglich der besten verfügbaren Techniken“ – ausführlich erörtert. Es wurde festgehalten, dass in vier Punkten unterschiedliche Auffassungen bestehen, die darauf zurückzuführen sind, dass ein Mitgliedsstaat zum einen den Eindruck hatte, dass die BVT-Schlussfolgerungen in Bezug auf das Management zu allgemein gehalten seien und durch konkrete Zahlen untermauert werden sollten, und zum anderen weil die Vertreter dieses Mitgliedsstaats – aufgrund der von ihnen vorgelegten Informationen – die Festlegung konkreter BVT-Emissionswerte für Schwermetalle und AOX an der Einleitungsstelle wünschten.
- August 2001: Ein Auszug des Entwurfs, der infolge der zweiten TWG-Sitzung erneut überarbeitet worden war, wurde den TWG-Mitgliedern für eine letzte Konsultation übermittelt.
- 15.-16. November 2001: Der endgültige Entwurf wird der GD Umwelt auf der 10. Sitzung des Informationsaustauschforums (IEF) des IPPC in Brüssel vorgelegt.
  Das IEF war der Auffassung, dass das Dokument den Informationsaustausch in der TWG genau wiedergibt und mit dem „BREF Outline and Guide“ im Einklang steht. Das Dokument wurde von der GD Umwelt nach einigen editoriellen Änderungen angenommen.

INFORMATIONSQUELLEN UND VERFÜGBARKEIT VON INFORMATIONEN

Für die Erstellung des BVT-Merkblatts wurden verschiedene Quellen herangezogen. Zu den wichtigsten zählten Fachbücher, die ULLMANN’s Enzyklopädie der chemischen Technik sowie Veröffentlichungen über spezielle Behandlungsverfahren. Weitere Informationen wurden der Internet-Website der Umweltschutzbehörde der Vereinigten Staaten (US-EPA) entnommen, über die technische Datenblätter zu Abgasbehandlungstechniken (einschließlich Informationen über die jeweiligen Kosten) abgerufen werden können. Ferner wurde auch die Website des „Environmental Technology Best Practice Programme“ konsultiert, auf der Informationen über verschiedene Abwasser- und Abgasbekämpfungstechniken angeboten wurden.

Einzelne Mitgliedstaaten, Europäische Industrieverbände (CEFIC und CONCAWE) sowie ein Chemie-Unternehmen lieferten Unterlagen zu den besten verfügbaren Techniken, Anleitungen, technisches Hintergrundmaterial und Daten über die in verschiedenen Bereichen erzielten Leistungen. All diese Unterlagen sind in der Referenzliste dieses Dokuments aufgeführt. Auch einige Hersteller haben Informationen über ihre Technologien zur Verfügung gestellt. Allerdings sind die meisten Unterlagen erst zu einem sehr späten Zeitpunkt

eingegangen. So trafen ein erstes und zweites Dokument über den Chemie-Sektor erst im November/Dezember 1999 ein. Einige Unterlagen wurden erst nach der Vorlage des ersten Entwurfs übermittelt, andere trafen sogar erst eine Woche vor der zweiten Sitzung ein.

UMFANG DES KONSENSES

Dieses BVT-Merkblatt wurde von den meisten Mitgliedern der TWG unterstützt, obwohl im Hinblick auf vier BVT-Schlussfolgerungen Auffassungsunterschiede verzeichnet wurden. Ein Mitgliedstaat erklärte, dass in den BVT-Schlussfolgerungen zum Umweltmanagement präzise Definitionen fehlen und konkrete BVT-Emissionswerte für Schwermetalle und AOX an der Einleitungsstelle festgelegt werden sollten. Einzelheiten hierzu sind in Kapitel 4 dargelegt.

EMPFEHLUNGEN FÜR KÜNFTIGE ARBEITEN

Das größte Problem im Informationsaustausch war, dass nützliche Leistungsangaben in Kombination mit Betriebsdaten (wie Energieverbrauch und -einsatz, Nutzung von Hilfsstoffen, medienübergreifende Wirkungen) fehlten. Um ein Beispiel zu nennen: Wenn die Sachverständigengruppe zu dem Schluss kam, dass keine für den gesamten Chemie-Sektor geltenden Emissionsgrenzwerte für Verfahren zur Schwermetallbeseitigung festgelegt werden können, da diese in hohem Maße prozessabhängig sind, konnten zur Untermauerung dieser Auffassung keine konkreten Daten vorgelegt werden. Folglich können in diesem BVT-Merkblatt keine Emissionsgrenzwerte – oder mit BVT verbundene Emissionswerte – für Verfahren zur Beseitigung von Schwermetallen genannt werden.

Ferner besteht ein erheblicher Mangel an Kostendaten. Da die chemische Industrie (mit Ausnahme von CONCAWE) keinerlei Daten vorgelegt hat, musste für das BVT-Merkblatt auf andere verfügbare Quellen (im Wesentlichen auf die Datenblätter der US-EPA, das niederländische Dokument über BVT in der Abgasbehandlung und die VITO-Datenbank über Abwasserbehandlungstechniken) zurückgegriffen werden. Allerdings bestehen weiterhin große Lücken. Folglich können bisher keine hinreichend verwertbaren, verlässlichen und vergleichbaren Kostendaten bereitgestellt werden. Generell war nicht bekannt, was genau in den Kostendaten der genannten Quellen enthalten war bzw. wie diese ermittelt wurden. Die relativen Kostendaten (je m^3 Abwasser, je 1000 Nm^3 Abgas oder je Masseeinheit Schadstoffe), die in diesem BVT-Merkblatt genannt werden, sollten daher eher als ein Anhaltspunkte für die Größeneinheit denn als konkrete Zahlen betrachtet werden. Die relativ wenigen konkreten Kostendaten, die im BVT-Merkblatt genannt werden, sind so aufgeführt, wie sie übermittelt wurden, d. h. Angaben in einzelstaatlichen Währungen wurden nicht in Euro umgerechnet. Es wird angeregt, die Frage des Konvertierungssystems für Kostendaten in dem BVT-Merkblatt über wirtschaftliche und medienübergreifende Belange zu behandeln. Die Schließung der bestehenden Lücken sowie die Berichtigung der Kostendaten ist eine wichtige Aufgabe für die Zukunft.

Es liegt somit auf der Hand, dass für die künftige Arbeit vor allem die Schließung aller noch bestehenden Lücken empfohlen wird. Zu den Punkten, die bei einer Überarbeitung des BVT-Merkblatts genauerer Betrachtung bedürfen, zählen:

- eine stärkere Berücksichtigung der technischen Leistung, d. h. nicht nur der Leistungs- und Emissionswerte. Dabei sollte medienübergreifenden Wirkungen und Energieaspekten sowie der Beschaffung der benötigten Daten mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden;
- Beispiele für in der Praxis einsetzbare Behandlungssysteme mit Blick auf einen parallelen Einsatz der verschiedenen Techniken an den Standorten der chemischen Industrie. Dabei sollten nicht nur die verschiedenen vorhandenen Behandlungsmöglichkeiten oder „gute“ Leistungsdaten aufgezählt werden, sondern den Betreibern alle für eine Entscheidung benötigten Daten geliefert und gute, nachvollziehbare Gründe genannt werden;
- Zur Verdeutlichung, was mit Schlagwörtern wie „gute Herstellungspraxis“, „angemessene Sicherheitserwägungen“ und „Risikobewertung“ gemeint ist, sollten ausgewählte Beispiele für gute Ingenieurpraxis angeführt werden;
- Konzentration auf das wichtigste Ziel des Merkblattverfahrens, sprich die Genehmigungsbehörden zu informieren und sie in ihrer Entscheidungsfindung zu unterstützen. Dabei sollte nicht lediglich eine Liste der verfügbaren Verfahren („shopping list“) vorgelegt oder versucht werden, die zuständige Person zu einer bestimmten Entscheidung zu bewegen. In diesem Zusammenhang könnte sich die Beachtung der vorgenannten drei Punkte als sinnvoll erweisen.

- Ein einheitlicherer Ansatz bei der Messung des Gesamtstickstoffs könnte die Vergleichbarkeit und die Schlussfolgerungen in diesem Bereich verbessern. Für die vorliegende Arbeit musste in erster Linie auf Angaben zum gesamten anorganischen Stickstoff zurückgegriffen werden, bei dem es sich jedoch nicht um einen allgemein anerkannten Parameter handelt.

Die Europäische Gemeinschaft initiiert und fördert durch ihre FTE-Programme eine Reihe von Vorhaben, die saubere Technologien, neue Abwasseraufbereitungstechniken und Managementstrategien betreffen. Diese Vorhaben können potentiell einen wichtigen Beitrag zu künftigen Überarbeitungen des BVT-Merkblatts leisten. Die Leser werden daher gebeten, das Europäische Büro für integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung EIPPCB über etwaige Forschungsergebnisse zu unterrichten, die im Hinblick auf dieses Dokument relevant sind (s.a. Vorwort).

In Bezug auf die Überarbeitung des BVT-Merkblatts wird empfohlen, zu warten, bis alle vertikalen BVT-Merkblätter im Chemie-Sektor fertiggestellt sind. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass bei Beginn der Überarbeitung alle für das horizontale BVT-Merkblatt benötigten Informationen vorliegen. Das heißt jedoch nicht, dass für die Erstellung des BVT-Merkblatts „Abwasser- und Abgasbehandlungs-/managementsysteme in der chemischen Industrie“ lediglich die für das vertikale Referenzdokument ermittelten Angaben übernommen und die Erkenntnisse einfach wiederholt werden dürfen. Ein solches Vorgehen würde den Bedarf für ein horizontales Referenzdokument für den Abwasser-/Abgasbereich ernsthaft in Frage stellen.

REFERENCES

[cww/tm/4]
Metcalf & Eddy, Inc.,
Waste Water Engineering – Treatment, Disposal, and Reuse,
3rd edition, revised by Tchobanoglous, Burton,
McGraw-Hill, New York, 1991

[cww/tm/26]
Betz Handbook of Industrial Water Conditioning
9th edition, Betz Laboratories, Inc., Trevose, 1991

[cww/tm/27]
Environment Agency (UK), HMSO, 1997
Technical Guidance Note A4,
Effluent Treatment Techniques

[cww/tm/46]
Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien 1994
Braun et al.
Biologische Abluftreinigung in Österreich
Stand und Zukunft biologischer Verfahren in der Abluftreinigung

[cww/tm/48]
CONCAWE, May 1999
Document No. 99/01,
Best Available Techniques to reduce Emissions from Refineries

[cww/tm/50]
Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt/M. 1995
Umweltbereich Luft
Textheft 22

[cww/tm/51]
RIZA (NL), 1990
Inventory of Treatment Techniques for Industrial Waste Water

[cww/tm/53]
VDI, Düsseldorf 1996
VDI 3478
Biological Waste Gas Purification
Bioscrubbers and Trickle Bed Reactors

[cww/tm/64]
BASF, July 1999
Verfahrenstechniken der Abgas-/Abluftbehandlung

[cww/tm/67]
VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemie-ingenieurwesen, 1999
4. GVC-Abwasser-Kongress 1999, Preprints
[a] Rosenwinkel et al., Membranverfahren in der industriellen Abwasserbehandlung, p 183 et seq
[b] Neumann et al., Einsatz der BAYER-Hochleistungs-Flotationstechnik als zusätzliche Verfahrensstufe der Klärtechnik, p 327 et seq
[c] John et al., Weiterentwicklung vertikal durchströmter Nachklärbecken, p 483 et seq
[d] Biener et al., Systematische Reduktion des Wasserverbrauchs und des Abwasseranfalls, p 71 et seq

[cww/tm/70]
Tauw, Feb 2000
InfoMil,
Dutch Notes on Waste Gas Treatment

[cww/tm/71]
ENTEC UK Ltd., 1996
Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG12,
Solvent Capture for Recovery and Re-use from Solvent-laden Gas Streams

[cww/tm/72]
CEFIC, Dec 1999
IPPC BAT Reference Document. Waste Water/Waste Gas Treatment. Chemical Industry Contribution Paper on Waste Water/Waste Gas Management

[cww/tm/74]
Environmental Processes '98, Hydrocarbon Processing 71-118,
Aug 1998

[cww/tm/75]
Paques Bio Systems B.V., Apr 1997,
Jansen, Buisman,
Biological SO_2 Removal from Flue Gas

[cww/tm/76]
European Lime Association, 1999
Lime and Dolomite Products for the Treatment of Drinking Water, Waste Water and Sewage Sludge

[cww/tm/77]
Naval Facilities Engineering Service Center (USA), June 1998
Joint Service Pollution Prevention Technical Library,
http://enviro.nfesc.navy.mil/p2library

[cww/tm/78]
Verfahrenstechnik, Mar 1999
Kaiser, Lehner,
Dampf- und Luftstrippung zur Rückgewinnung von Ammoniak aus Abwasser

[cww/tm/79]
Environment Agency (UK), Apr 1994
Technical Guidance Note A3,
Pollution Abatement Technology for Particulate and Trace Gas Removal

[cww/tm/80]
Environment Agency (UK), Febr 1994
Technical Guidance Note A2,
Pollution Abatement Technology for the Reduction of Solvent Vapour Emissions

[cww/tm/81]
P. Kunz,
Behandlung von Abwasser,
Vogel Verlag, Würzburg, 2nd Edition 1990

[cww/tm/82]
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit / LAWA, Germany 2000
Hinweise und Erläuterungen zu Anhang 22 der Abwasserverordnung

[cww/tm/83]
European Water Pollution Control, Vol 7, 1, 1997
Meyer, Hanke,
Reduction of Nitrogen and Phosphorous Discharges from Bayer's Dormagen Production Site

[cww/tm/84]
InfoMil, Feb 2000
Dutch Notes on BAT for the Large Volume Organic Chemicals Industry

[cww/tm/85]
W.L. GORE & Ass., 1999
Plinke et al.,
Catalytic Filtration – Dioxin Destruction in a Filter Bag,
unpublished

[cww/tm/86]
Linnhoff et al., Aug 1998
Intelligent Networking of Process Waste Water Streams in the Chemical Industry
http://www.linnhoffmarch.com/Resources/Pinch.html

[cww/tm/87]
DVWK Regeln 134/1997,
Technische Regel wassergefährdender Stoffe (TRwS) Abwasseranlagen als Auffangvorrichtungen

[cww/tm/88]
Council Directive 1999/13/EC,
11.3.1999

[cww/tm/89]
US-EPA, 1995
AP-42 Emission Estimating Handbook, section 7.1 Storage of Organic Liquids
http://www.epa.gov./ttn/chief/ap42.html

[cww/tm/90]
US-EPA OAQPS, Dec 1999
TANKS 4.06 for Windows
http://www.epa.gov/ttnchie1/tanks.html

[cww/tm/91]
Nalco Chemical Company,
The NALCO Water Handbook,
2nd Edition, McGraw-Hill, New York, 1988

[cww/tm/92]
ENTEC UK Ltd., 1996
Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG37,
Cost-effective Separation Technologies for Minimising Wastes and Effluents

[cww/tm/93]
ENTEC UK Ltd., 1997
Environmental Technology Best Practice Programme, Guide GG54,
Cost-effective Membrane Technologies for Minimising Wastes and Effluents

[cww/tm/94]
Environment Agency (UK), Nov 1993
Technical Guidance Note A1,
Guidance on Effective Flaring in the Gas, Petroleum, Petrochemical and Associated Industries

[cww/tm/95]
Environmental Protection Agency (Ireland), May 1996
Integrated Pollution Control Licensing
BATNEEC Guidance Note for the Chemical Sector

[cww/tm/96]
North Ostrobothnia Regional Environment Centre, June 2000
Examples of Waste Water and Waste Gas Treatment in the Chemical Industry in Finland

[cww/tm/97]
DHV Water BV, Febr 1996
Giesen, van der Molen,
The Crystalactor®: Waste Water Treatment by Crystallisation without Waste Production

[cww/tm/100]
Biothane Systems International, 2000
Biological Waste Water Treatment: KoSa Netherlands BV

[cww/tm/101]
Paques BV, Netherlands, Oct 1991
Buisman, Biological Zinc and Sulphate Removal from Waste Water

[cww/tm/102]
1996 EPD Proceedings, 1996
de Vegt, Buisman
Sulphur Compounds and Heavy Metal Removal Using Bioprocess Technology

[cww/tm/105]
BAYER AG, April 2000
Waste Water Treatment Plants of BAYER

[cww/tm/106]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
High Efficiency Particle Air (HEPA) Filter, Ultra Low Penetration Air (ULPA) Filter

[cww/tm/107]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA Dec 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Cyclones

[cww/tm/108]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA Dec 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Settling Chambers

[cww/tm/110]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Fibre Bed Scrubber

[cww/tm/111]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Impingement-Plate / Tray-Tower Scrubber

[cww/tm/112]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Orifice Scrubber

[cww/tm/113]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Packed-Bed / Packed-Tower Wet Scrubber

[cww/tm/114]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Spray-Chamber / Spray-Tower Wet Scrubber

[cww/tm/115]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA July 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Venturi Scrubber

[cww/tm/116]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Catalytic Incinerator

[cww/tm/117]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Flare

[cww/tm/118]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Incinerator – Recuperative Type

[cww/tm/119]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Regenerative Incinerator

[cww/tm/120]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA June 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Thermal Incinerator

[cww/tm/121]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Fabric Filter – Mechanical Shaker Cleaned Type, Mechanical Shaker Cleaned Type with Sonic Horn Enhancement

[cww/tm/122]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Fabric Filter – Pulse-Jet Cleaned Type

[cww/tm/123]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA April 2000
Air Pollution Technology Fact Sheet
Fabric Filter – Reverse-Air Cleaned Type, Reverse-Air Cleaned Type with Sonic Horn Enhancement, Reverse-Jet Cleaned Type

[cww/tm/124]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Dry Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Pipe Type

[cww/tm/125]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Dry Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Plate Type

[cww/tm/126]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Wet Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Pipe Type

[cww/tm/127]
EPA-CICA Fact Sheet, US-EPA May 1999
Air Pollution Technology Fact Sheet
Wet Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Plate Type

[cww/tm/128]
VITO (Belgium), Aug 2000
SLSS Techniekbladen

[cww/tm/129]
BetzDearborn, Jan 1993
Hartung,
Applying Quality Methods to Waste Water Treatment
TAPPI Journal, 1993

[cww/tm/130]
UBA (Berlin), Mai 2000
Draft OSPAR Background Document Concerning the Elaboration of Programmes and Measures Relating to Whole Effluent Assessment

[cww/tm/131]
Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, the Netherlands, Sept 1999
Dutch Notes on BAT for Mineral Oil Refineries

[cww/tm/132]
Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry
6th edition, Electronic Release
Wiley-VCH Verlag, Weinheim, Germany 2000

[cww/tm/133]
UBA (Wien)
Formaldehyde

[cww/tm/135]
US-EPA, Clean Air Technology Center, May 1999
Choosing an Adsorption System for VOC: Carbon, Zeolite or Polymers

[cww/tm/137]
US-EPA, Clean Air Technology Center, Nov. 1999
Technical Bulletin: Nitrogen Oxides (NOx), Why and How they are Controlled

[cww/tm/138]
US-EPA, Control Technology Center, April 1995
Control and Pollution Prevention Options for Ammonia Emissions

[cww/tm/143]
US-EPA
AP-42, 5th edition, Volume I, 1995
Chapter 13.5 Industrial Flares

[cww/tm/146]
Sackewitz, Umwelt 29 (1999) Nr. 4, pp 16 - 18
Luftstrippverfahren zur Teilstrombehandlung
Betriebserfahrungen auf den Kläranlagen Göttingen und Cuxhaven

[cww/tm/147]
SEPA (Scotland), Environment Agency (England, Wales)
Pollution Prevention Guidelines 18
Managing Fire Water and Major Spillages

[cww/tm/148]
SEPA (Scotland), Environment Agency (England, Wales)
Pollution Prevention Guidelines 21
Pollution Incident Response Planning

[cww/tm/149]
UBA (WIEN), 2000
Ecker, Winter
Stand der Technik bei Raffinerien im Hinblick auf die IPPC Richtlinie
Monographien Band 119

[cww/tm/150]
US-EPA, ICAC,
Control Technology Information
Brief Descriptions of Air Pollution Control Technologies
http://www.epa.gov/earth1r6/6pd/air/pd-1/noxcont.htm

[cww/tm/151]
UmweltMagazin, Mai 2000, pp 48
Karl,
Neue Festbettbiologie reinigt schwierige Abwässer

[cww/tm/152]
US-EPA
Protocol for Equipment Leak Emission Estimates
http://www.epa.gov/ncepihom/Catalog/EPA453R95017.html

[cww/tm/153]
World Oil Magazine August 2000, Vol. 221, No. 8
Successful Field Trials Lead to Enclosed Burner Application
http://www.worldoil.com/magazine/MAGAZINE_DETAIL.asp?ART_ID=1255&MONTH_YEAR=Aug-00

[cww/tm/154]
IMPEL Network, December 2000
Diffuse VOC Emissions
http://europa.eu.int/comm/environment/impel/vocemissions.htm

[cww/tm/155]
The European Parliament and the Council, 4th December 2000
Directive 2000/76/EC on the Incineration of Waste

[cww/tm/156]
Infomil, December 1999
Dutch Notes on BAT for the Production of Nitric Acid

[cww/tm/157]
Infomil/ADEME, March 2001
NOXCONF 2001
International Conference: Industrial Atmospheric Pollution
NO_x and N_2O emission control: panel of available techniques
Paris la Défense, 21st and 22nd March 2001
[a] Gry, Session 8, Chemical Industry
Program to reduce NO_x emissions of HNO_3 plants with selective catalytic reduction

[cww/tm/158]
CEFIC, November 2000
IPPC BAT Reference Document
Monitoring of Emissions
Chemical Industry Contribution Paper
Definitions

[cww/tm/159]
Berlin 1999
ATV Handbuch Industrieabwasser
4th edition

[cww/tm/160]
German Information

[cww/tm/161]
Kluwer Academic Publishers 1994
Mulder, M.
Energy Requirements in Membrane Separation Processes
in: Crespo, Böddeker (ed.): Membrane Processes in Separation and Purification

[cww/tm/162]
UBA Berlin, 20.10.2000
Classification of Toxicity, Whole Effluent Assessment (WEA) and Toxicity Test

[cww/tm/163]
INERIS, 2001
The Membrane Bioreactor

[cww/tm/164]
INERIS, 2001
The Biofilter for Industrial Waste Water Treatment

[cww/tm/165]
UBA Berlin, 1999
K. Diehl, U. Hagendorf, J. Hahn
Compilation of Biotest Data (English Summary)

[cww/tm/166]
Verband der Chemischen Industrie e.V., May 2000
Erklärung des Verbandes der Chemischen Industrie
"Handlungsziele für die Abwässer der chemischen Industrie"

[cww/tm/167]
CEN as Member of TWG on Monitoring, version July 1999
List of CEN Standards Available for the Monitoring of the Emissions of Industrial Plants under the IPPC Directive

[cww/tm/168]
Parftec Limited, Wolverhampton (UK) 1999
The KN-Filter – An All-metal Cake Filtration System for the More Arduous Gaseous Emission Control Application

7 ANNEXES

The Annexes supplement the information provided in the document. They are:

Annex I Joint Operation of Industrial and Municipal WWTP
Annex II Pinch Technology as Example of EFMA
Annex III Monitoring of a Central Biological WWTP
Annex IV Monitoring Standards
Annex V Pollution Incident Response Plan
Annex VI Examples of Waste Water Treatment and Waste Gas Treatment
Annex VII Legislation Applied to Waste Water and Waste Gas in the Chemical Sector

7.1 Annex I. Joint Operation of Industrial and Municipal WWTP

Conditions of Joint Treatment of Municipal and Industrial Waste Water (Example from France)

The general case in the chemical industry in France is that effluents are treated on-site. Joint municipal and industrial waste water treatment, however, is sometimes encountered, e.g. in biochemical productions (such as vitamins or antibiotics via biochemical pathways), and in formulation and conditioning activities for which the flow rate and the load of the effluent remain manageable by a municipal treatment plant. In this case, a study of the impact of industrial streams on the municipal treatment plant (impact on operation and sludge disposal) is done and an "industrial release agreement" is signed between industry and the local waste water management authority.

A Municipal Decree is issued that generally contains the following main provisions of the agreement:

- pH of the effluent comprised between 5.5 and 8.5 (eventually 9.5)
- temperature of the effluent <30°C
- effluent not containing substances hazardous to the personnel of the municipal WWTP, the collecting network, the WWTP itself and its operation, the environment downstream of the WWTP and the further handling of the waste water sludge
- either maximum flows and pollution loads to be discharged (BOD, COD, TSS, total Kjeldahl-N, (NO_2+NO_3)-N, non-biodegradable N, nitrification inhibitors, total P, other substances that might impact on the operation of the WWTP and the further handling of sludge) or provisions concerning pretreatment / recovery installations to be operated by the industrial site prior to discharge in the municipal sewer
- financial conditions

The discharge convention further describes the technical conditions of the discharge agreement fixed by the municipal decree. These generally include the following:

- provisions concerning the private network of the industrial site, in order to prevent unwanted discharge to the public network
- description of any private pretreatment facilities that have to be operated in order to handle properly flow variations, start-up / shut down of the plant, have to be monitored (monitoring results to be sent to the municipal authority)
- technical conditions for the connections between private and public networks
- various obligations of the industrial site, such as:

- no dilution of the effluent
- exceptionally high discharges (e.g. in case of maintenance) have to be smoothed over 24 hours
- effluents need to be monitored, connections periodically inspected. The local authority can monitor the effluent on their own initiative and check the monitoring equipment in cooperation with the industrial operator.
- water consumption is monitored and the results sent to the local authorities
- action plan for an emergency (e.g. the closure of connections between municipal sewage system and industrial site)

- the obligations of the local authority are:
  - to accept the discharge when it is within the limits fixed in the agreement
  - to inform the industrial site in the case of operational problems at the municipal WWTP
- economic and administrative questions

Example of Cooperation Between Municipal and Industrial WWTP with Positive Synergetic Effect (Germany)

In Section 1.3.2.1, it was mentioned that there are normally neither advantages nor disadvantages with the joint treatment of industrial and municipal waste water. An example where this is not the case is described briefly here.

In the past, two WWTPs – one a municipal and the other a chemical industry plant – each operating a central biological treatment, had separate discharge points into a small receiving river. They now operate jointly in the following manner:

- nitrogen-rich and poorly degradable filtrate from sludge treatment devices of the municipal WWTP is treated in the industrial WWTP, which has micro-organisms adapted to cope with this kind of waste water
- in return, the industrial WWTP sends an equal amount of waste water to the municipal WWTP

Abbildung 7.1 and Abbildung 7.2 show, respectively, the processes before and after the move to joint operation.

This cooperation has economic and environmental advantages. The use of equipment on only one site saves capital and the mutual discharge reduces the nitrogen load (sum of ammonium, nitrite and nitrate) into the receiving river by 1000 kg per day, compared to the separated discharges before.

7.2 Annex II. Example of EFMA: Pinch Technology

A widespread and well known EMFA tool is Pinch technology, used to optimise production processes, save energy and water consumption and decrease the impact of waste discharge. Two of those – the optimisation of water consumption and waste discharge – are within the scope of this BREF. Optimisation of production processes is covered by vertical BREFs and other references [cww/tm/132].

Pinch Technology is a methodology for optimising the consumption of consumables in processes and on sites by introducing process integration techniques. It was primarily used as an energy saving tool to improve thermal efficiency in the chemical and process industries. Recently this method has been transferred to water and waste (water) minimisation.

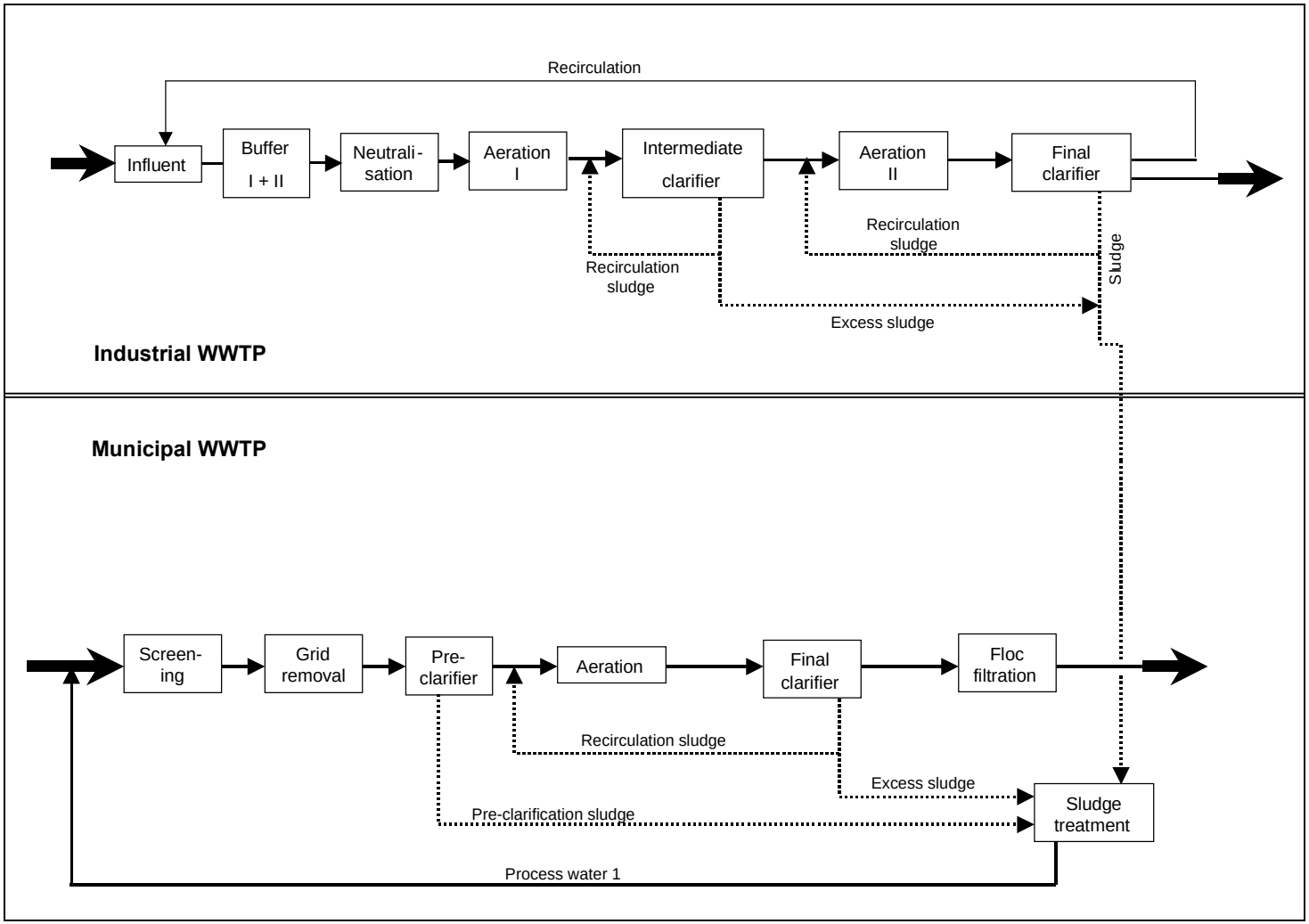

Abbildung 7.1: Cooperation Between an Industrial and a Municipal WWTP: Situation Before

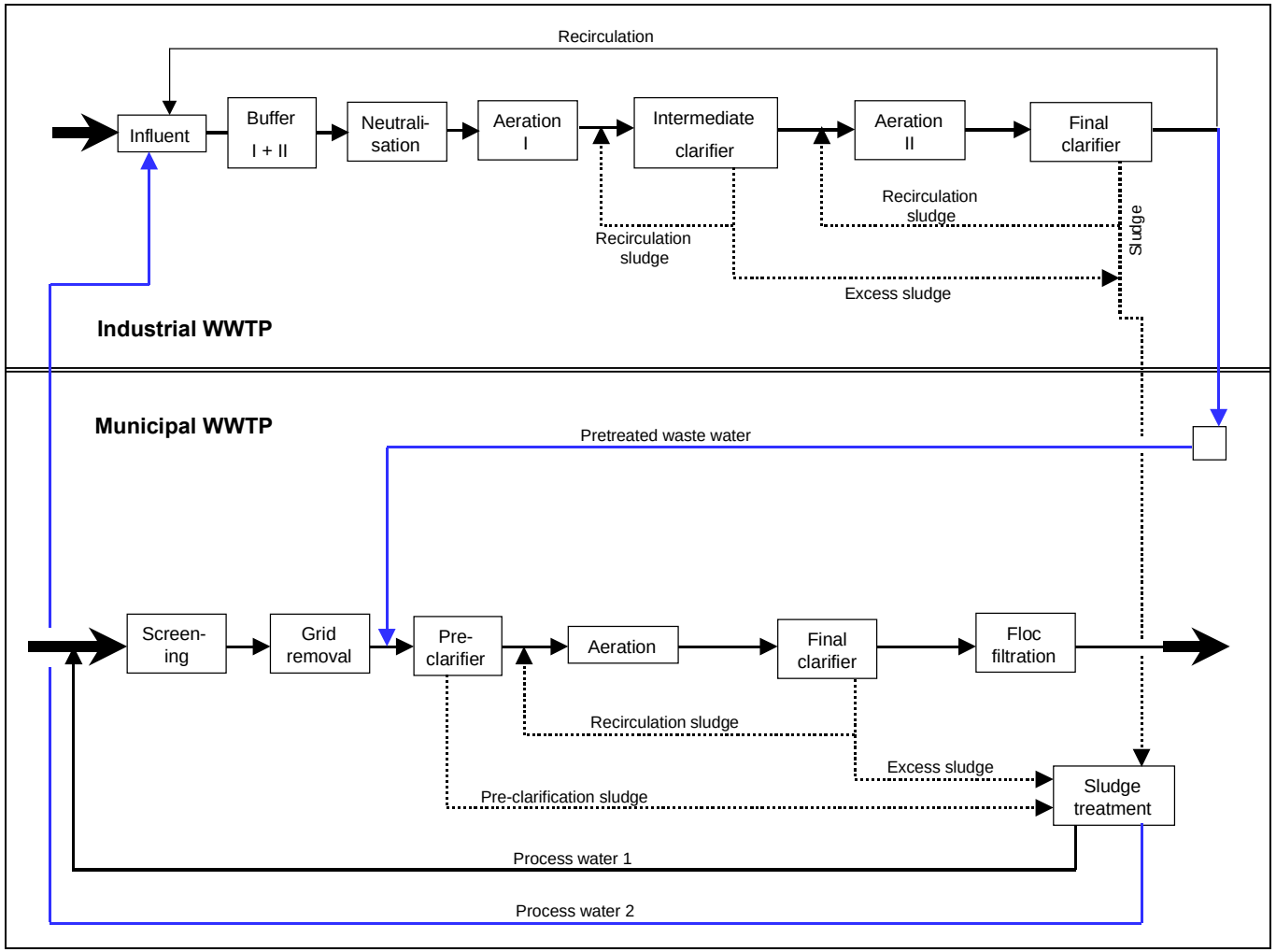

Abbildung 7.2: Cooperation Between an Industrial and a Municipal WWTP: New Situation

Its concept is to define and find water saving potential by, e.g. piping and control changes, and to minimise waste water discharge by process modifications, thus enabling selective waste water regeneration and reducing treatment costs. It is also used to design or re-design distributed effluent treatment so as to lower capital costs by reducing the hydraulic load of a central WWTP.

Its application can be broken down into four steps [cww/tm/86]:

Step 1:
Drawing a flowsheet of the entire water system (supply, discharge) that shows all places where water is used, and all points where waste water is generated.
Developing a water balance accurate to within 10 % of the amounts of the larger streams.
Defining the appropriate data for the analysis by determining water sources and water sinks.

A profile is presented in Abbildung 7.3 [cww/tm/86].

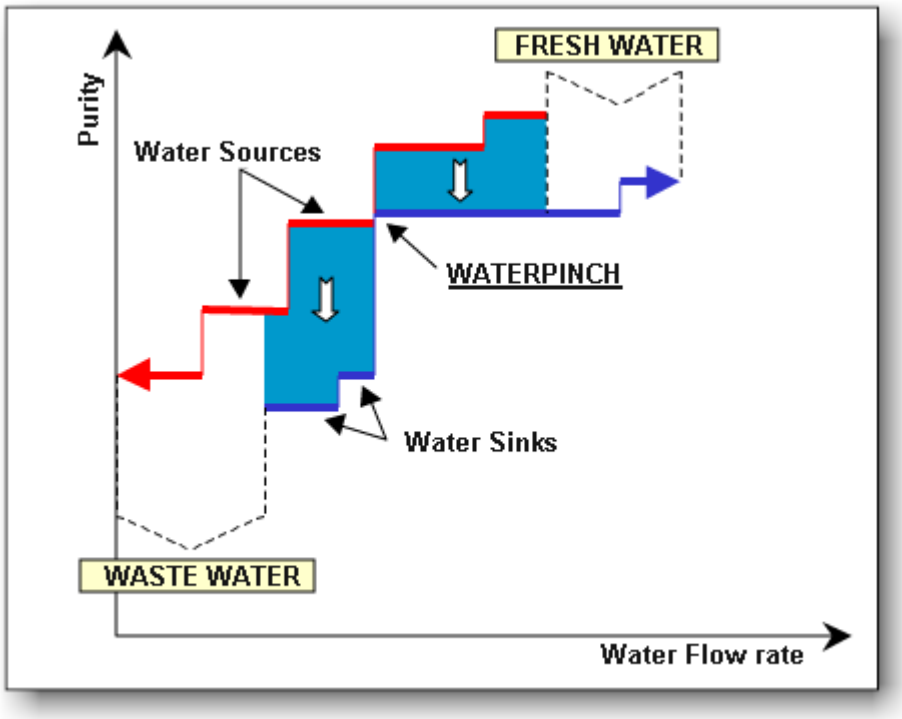

Abbildung 7.3: Pinch Technology – Analysis, Source and Sink Curves

Step 2:
- Selecting key contaminants or properties that prevent the direct re-use of the respective waste water stream
- Choosing design concentrations – maximum allowable for sinks, and minimum practical for sources.

Step 3:
- Developing the multi-dimensional pinch analysis to determine optimum matches between sources and sinks. Appropriate software is available for this. The procedure includes identification of pinches and a consideration of process modifications and regeneration options resulting in lower targets.

Step 4:
- Repetition of step 3 until a practical design has evolved.

The application of Pinch Technology has succeeded in waste water savings of up to 60 % [cww/tm/86]. Performance examples for waste water flow reduction are:

- Chemicals and Fibres 25 %
- Chemicals 40 %
- Oil Refining 20–30 %
- Coal Chemicals 50 %
- Polymers 60 %

An example of water conservation strategy is given in Abbildung 7.4 [cww/tm/86]

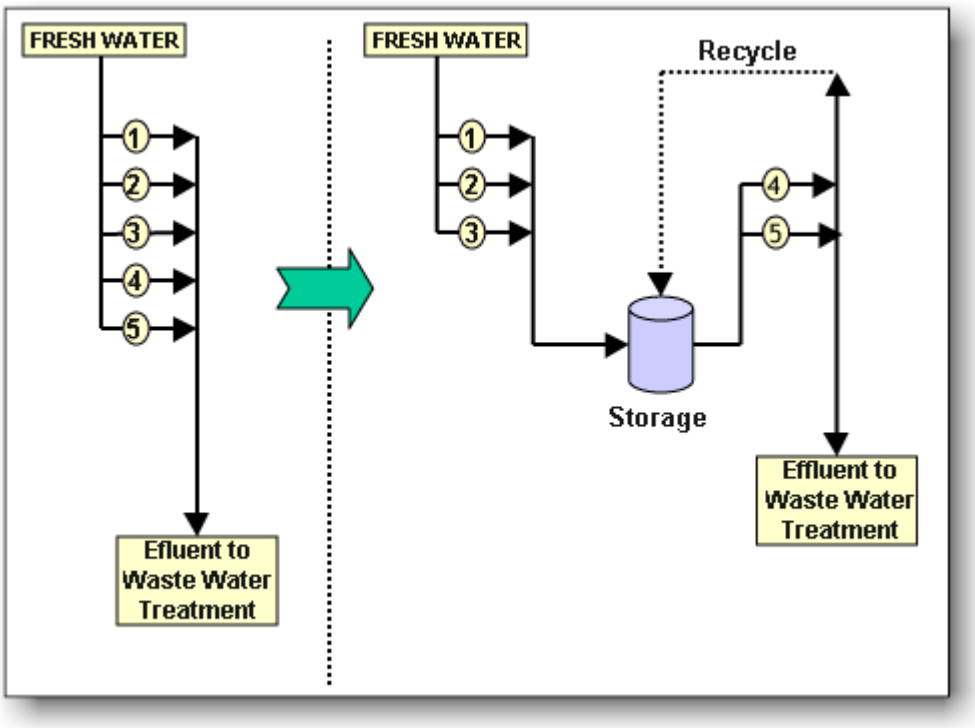

Abbildung 7.4: Example of Water Conservation Strategy before and after Pinch Analysis

Cost savings are not normally restricted to the water saving costs. They can be significant if waste water reduction leads to the construction of a smaller central WWTP, makes expansion of the existing waste water treatment facilities unnecessary or allows the expansion of production unit capacity without hydraulically overloading the existing central WWTP. Process modification and selective water regeneration can result in product recovery, which can be economically profitable as well.

The major applications for Pinch Technology [cww/tm/86] are:

- to avoid production cutbacks under limited water supply conditios
- to reduce water supply costs
- to reduce capital costs of new water supply facilities (e.g. new wells or pipelines)
- to reduce capital costs of water treatment facilities
- to reduce waste water treatment costs
- to reduce sewage charges
- to reduce capital costs of expanding on-site waste water treatment facilities to meet increased production loads or more stringent emission regulations
- to help comply with environmental regulations.

7.3 Annex III. Monitoring of a Central Biological WWTP

Proper operation of a biological WWTP requires constant surveillance and the targeted adjustment of various process parameters. Monitoring of the relevant parameters can be accomplished by on-line measurements that facilitate direct intervention and control, or analytical results derived from waste water samples, which reflect longer-term trends and are also essential for monitoring and documentation purposes. Both the needs with respect to on-line measurements and analyses applicable to the various process stages associated with a WWTP are provided in Tabelle 7.1. Specific requirements may vary in individual cases [cww/tm/132].

Parameter	Influent	Neutralisation	Preclarification	Buffer influent to biology	Biology	Effluent	Sludge treatment
Analyses from on-line measurements							
waste water flow	c					c	
pH	c	c	c	c	c	c	c
temperature	c					c	
bacteria toxicity	c						
TOC				c	c	c	
nitrogen				c	c	c	
phosphorous				c	c	c	
total solids [g/l]					c		
dissolved oxygen					c	c	
Analyses from random samples							
total solids [g/l]			i		i		i
settling volume			i		i	i	
Analyses from average samples							
TOC	i			i		i	
COD	i			i		i	
BOD	i			i		i	
AOX / EOX	i			i		i	
total nitrogen	i			i		i	
NH_4-N	i			i		i	
NO_3-N	i			i		i	
total phosphorus	i			i		i	
PO_4-P	i			i		i	
individual substances	i			i		i	
c: continuously online i: inhalatory samples							

Tabelle 7.1: Monitoring of a WWTP

7.4 Annex IV. Monitoring Standards

The followings lists (version July 1999) give the available CEN standards of analytical parameters for emission monitoring in the domains air, water, sludge and sediment. CEN standards are adopted in all EU Member States [cww/tm/167].

The table lists either the standards ratified by CEN (EN number and date of ratification) or the drafts under public enquiry or vote (ISO or prEN number). When neither is given it signifies that work is still in progress.

Standards for water, sludge and sediment

Parameter	Domain	Standards ratified by CEN	Drafts under public enquiry or vote
Surrogate, sum and group parameters			
AOX	water	EN 1485: 1996	
BOD	water	EN 1899: 1998	
Suspended solids	water	EN 872: 1996	
TOC	water	EN 1484: 1997	
Complexing agents	water		
Hydrocarbon oil index	water		ISO DIS
Oxygen consumption	water, sludge	EN ISO 8192: 1995	
PAH	water		
Phenol index by flow analysis	water, sludge		prEN 14402
Permanganate value	water	EN ISO 8467: 1995	
Anionic surfactants	water	EN 903: 1993	
Activated sludge simulation test	water	EN ISO 11733: 1998	
Inherent biodegradability	water	EN ISO 9887: 1994	
Methylene blue index by flow analysis	water		
Inhibition of nitrification	water	EN ISO 9509: 1995	
Sulphite reducing Clostridia	water	EN 26461: 1993	
Ultimate biodegradability (released CO_2)	water	EN 29439: 1993	
Ultimate biodegradability (Zahn Wellens)	water	EN 29888: 1993	
Ultimate biodegradability (closed respirometer)	water	EN 29408: 1993	
Ultimate biodegradability (DOC measurement)	water	EN ISO 7827: 1995	
Ultimate biodegradability (low soluble substances)	water	EN ISO 10634: 1995	
Ultimate biodegradability (biogas production)	water	EN ISO 11734: 1998	
Ultimate biodegradability (BOD measurement)	water	EN ISO 10707: 1997	
Alkalinity	water	EN ISO 9963: 1995	
Colour	water	EN ISO 7887: 1994	
Electrical conductivity	water	EN ISO 7888: 1993	
Odour, flavour	water	EN 1622: 1997	
Turbidity	water	EN 27027: 1999	

Parameter	Domain	Standards ratified by CEN	Drafts under public enquiry or vote
Toxicity parameters			
Algal growth inhibition test	water	EN 28692: 1993	
Bacteria toxicitiy (pseudomonas)	water	EN ISO 10712: 1995	
Fish toxicity	water	EN ISO 7346: 1998	
Inhibition of mobility of daphnia magna	water	EN 6341: 1996	
Luminescent bacteria test	water	EN ISO 11348: 1998	
Marine algal growth inhibition test	water	EN ISO 10253: 1998	
Single organic substances			
Benzene and homo-logues	water		
Carbontetrachloride (tetrachloromethane)	water	EN 10301: 1997	
Chloroform (trichloro-methane), dichloroetha-ne, trichloroethene, tetrachloroethene	water	see EN 10301	
Chlorophenols, poly-chlorinated phenols	water	EN 12673: 1997	
Epichlorohydrine	water		
Hexachlorobenzene, trichlorobenzene	water	see EN 6468	
Hexachlorocyclohexane and isomers	water	EN 6468: 1996	
Organotin	water		
Pesticides			
Aldrin, dieldrin, endrin	water	see EN 6468	
Atrazine, simazine by HPLC	water	EN 11369: 1997	
Atrazine, simazine by GC	water		ISO/DIS 10695-1
DDT, DDD, DDE	water	see EN 6468	
Endosulfane	water	see EN 6468	
Parathione, parathione methyl and related compounds	water		prEN 12918
Parathione and related compounds by solid-liquid extraction	water		
Inorganic parameters			
Aluminium	water		
Arsenic	water	EN 11969: 1996 EN 6595: 1992	
Arsenic,l selenium, an-timony by atomic fluo-rescence	water		
Cadmium	water, sludge, sediment	EN 5961: 1995	
Calcium and magne-sium	water		
Chlorine	water		
Chromium	water, sludge, sediment	EN 1233: 1996	
Kjeldahl nitrogen	water	EN 25663: 1993	
Mercury	water, sludge, sediment	EN 1483: 1997	
Mercury – enrichment method	water, sludge, sediment	EN 12338: 1998	
Mercury by atomic fluo-rescence	water, sludge, sediment		
Metals by flameless AAS	water		
Thallium by AAS	water		

Parameter	Domain	Standards ratified by CEN	Drafts under public enquiry or vote
Total nitrogen, instrumental method	water	ENV 12260: 1996	
33 elements by ICP-OES	water, sludge, sediment	EN ISO 11885: 1997	
Inorganic parameters, cationic			
Ammonium by flow analysis	water	EN ISO 11732: 1997	
Cations by IC	water, sludge	UAP 1998	
Inorganic parameters, anionic			
Bromate by IC	water		
Chloride by flow analysis	water		
Cyanide by flow analysis	water, sludge		prEN 14403
Dissolved anions by IC	water	EN ISO 10304-1: 1995 EN ISO 10304-2: 1996 EN ISO 10304-3: 1997	prEN 10304-4
Nitrite	water	EN 26777: 1993	
Nitrite and nitrate by flow analysis	water	EN ISO 13395: 1996	
Phosphate by flow analysis	water		
Phosphorous	water	EN 1189: 1996	
Silicate by flow analysis	water		
Water quality parameters			
Dissolved oxygen	water	EN 25813: 1992 EN 25814: 1992	

Standards for emission to the atmosphere and ambient air

Parameter	Domain	Standards ratified by CEN	Drafts under public enquiry or vote
Air from soil	air emission		
Benzene	ambient air		
Carbon monoxide (CO)	ambient air		
Carbon monoxide (CO) Concentration in stack	air emission		
Diffusive samplers Requirements and test methods	ambient air		prEN 13538-1
Diffusive samplers Specific requirements test methods	ambient air		prEN 13538-2
Diffusive samplers Guide for selection, use, maintenance	ambient air		
Dioxins and furans Sampling	air emission	EN 1948-1: 1996	
Dioxins and furans Extraction and clean-up	air emission	EN 1948-2: 1996	
Dioxins and furans Identification and quantification	air emission	EN 1948-3: 1996	
Dust, total, at low concentration Reference method	air emission		prEN 13284-1
Dust, total, at low concentration Validation of AMS	air emission		
HCl, gaseous Sampling and gas pretreatment	air emission	EN 1911-1: 1997	

Parameter	Domain	Standards ratified by CEN	Drafts under public enquiry or vote
HCl, gaseous Gaseous compound absorption	air emission	EN 1911-2: 1997	
HCl, gaseous Solution analysis and calculation	air emission	EN 1911-3: 1997	
Fugitive/diffuse emissions	air emission		
Mercury	ambient air		
Mercury, total Reference method	air emission		prEN 13211-1
Mercury, total Validation of AMS	air emission		
Metals – metaloids (except Hg – Sn)	air emission		
Metals – metaloids Pb – Cd – As – Ni	ambient air		
Nitrogen oxide (NO_2)	ambient air		
Nitrogen oxides (NO-NO_2) Concentration in stack	air emission		
Odour by dynamic olfactometry	air emission		
Organic carbon, gaseous, total (FID) – low concentration	air emission		prEN 12619
Organic carbon, gaseous, total (FID) – high concentration	air emission		prEN 13526
Organic carbon, gaseous Individual compounds	air emission		
Oxygen (O_2) concentration in stack	air emission		
Ozone (O_3)	ambient air		
Particulate matter ($<PM_{10}$)	ambient air		prEN 12341
Particulate matter ($<PM_{2.5}$)	ambient air		
Quality assurance of AMS Performance and requirements	air emission		
Quality assurance of AMS Periodic validations	air emission		
Quality assurance of AMS Operation monitoring	air emission		
Certification systems for AMS	air emission and ambient air		
Strategy/Quality of emission measurement	air emission		
Sulphur dioxide (SO_2)	ambient air		
Sulphur dioxide (SO_2) Concentration in stack	air emission		
Water vapour (H_2O vapour) Concentration in stack	air emission		

7.5 Annex V. Pollution Incident Response Plan

An example of a Pollution Incident Response Plan [cww/tm/148], as mentioned in Section 2.2.4.2, is detailed here. The information asked for is general, applicable to all sites. Special productions or site-specific features might require further information.

NAME AND ADDRESS OF COMPANY

NATURE OF BUSINESS

DATE OF PLAN	REVIEW DATE
APPROVED BY	DATE

COPIES TO	ENVIRONMENTAL AUTHORITY FIRE AUTHORITY POLICE SEWAGE UNDERTAKING WATER SUPPLIER LOCAL AUTHORITY OTHER
CONTACT PHONE NUMBERS DURING OFFICE AND OUT OF OFFICE HOURS	EMERGENCY SERVICES LOCAL POLICE MEDICAL SERVICE ENVIRONMENTAL HOTLINE ENVIRONMENTAL REGULATOR LOCAL AUTHORITY SEWAGE UNDERTAKING WATER SUPPLIER GAS SUPPLIER ELECTRICITY SUPPLIER WASTE DISPOSAL CONTRACTOR SPECIALIST ADVICE SPECIALIST CLEAN-UP CONTRACTORS
COMPANY CONTACTS (OUT OF HOURS)	MANAGING DIRECTOR SITE MANAGER ENVIRONMENTAL MANAGER FOREMAN HEAD OFFICE CONTACT

SITE DRAINAGE PLAN

OIL, CHEMICAL AND PRODUCT INVENTORY

MAXIMUM QUANTITIES AT PEAK TIMES

TRADE NAME	CHEMICAL	LIQUID/GAS/POWDER	CONTAINER SIZE	MAXIMUM QUANTITY

7.6 Annex VI. Examples of Waste Water and Waste Gas Treatment

The following examples give data from effluent treatment plants currently operated in different EU Member States. Their inclusion, however, does not automatically imply that all these plants and their equipment are BAT. The BAT conclusions are detailed in Chapter 4.

7.6.1 Technical Information on Waste Water Treatment Plants (Examples)

[cww/tm/105]

	Example I	Example II
Production	production mix, mainly organic	production mix
Year of construction	1988	1978
Function	tower biology plant with separate final clarification for chemical waste water treatment	tower biology with final clarification
Process steps	neutralisation biological treatment final clarification	equalisation neutralisation biological treatment sedimentation
Plant characteristics	- buffer tank: V = 300 m^3 - neutralisation tank: V = 3.0 m^3 - 2 aeration tanks: V = 3000 m^3 each - bottom hopper, diameter 14 m	- 2 buffer tanks: V = 1500 m^3 - 1 buffer tank: V = 1700 m^3 - 3 neutralisation vessels: V = 25 m^3 each - 6 biological treatment towers: V = 1600 m^3 each, diameter 11 m - 6 bottom hoppers: V = 112 m^3 each as final clarification
Sludge treatment	dewatering before off-site incineration	centrifuge evaporation combustion
Process data		
Waste water flow [m^3/d]	5280	3840
COD load [tonnes/d]	4.2	3
NH_4-N load	0.2	0.3
BOD_5 [tonnes/d]	1.75	1
organic N [tonnes/d]	0.15	
NO_3-N [tonnes/d]		0.5
PO_4-P [tonnes/d]	0.005	
Consumables		
O_2 input [tonnes/d]	12.0	6.8
Flocculants [tonnes/yr]	6	1.57
Nutrients [tonnes/yr]	1.18	
Electricity WWTP [MWh/yr]	885	2581
Electricity sludge treatment [MWh/yr]	38	105
Steam WWTP [tonnes/yr]	-	1200
Steam sludge treatment [tonnes/yr]	-	50718
Compressed air WWTP [1000 Nm^3/yr]	1700	4750
Compressed air sludge treatment [Nm^3/yr]	-	17.6
Cross-media effect		
Sludge [tonnes dry solids/d]	0.11	0.13
Sludge [kg dry solids per tonne eliminated COD]	34	118
Performance data [a]		
waste water amount [m^3/d]	4704	1882
COD elimination [%]	53	81
COD emission [mg/l]	616	132

[a] daily mean average

	Example III	Example IV
Production	production mix: large volume and fine chemicals, organic and inorganic	
Year of construction	1972-74, expansions 1979, 1981, 1985-6	1978, expansion 1994, 1999
Function	tower biology as high load and tank biology as low load treatment	tower biology with final clarification
Process steps	rake screen neutralisation pre-clarification buffering, equalisation part denitrification biological stage 1 with intermediate clarification biological stage 2 with final clarification flotation off-gas treatment sludge treatment	rake screen neutralisation pre-clarification buffering, equalisation biological stage 1 biological stage 2 final clarification sludge treatment
Plant characteristics	- neutralisation: V = 628 m^3 - 8 pre-clarifiers industrial: V = 480 m^3 each - 2 pre-clarifiers municipal: V = 1950 m^3 each - 3 buffer tanks: V = 10000 m^3 each - 2 buffer tanks: V = 25000 m^3 each - 1 buffer tank: V = 15000 m^3 - 1 denitrification tank: V = 10000 m^3 - 4 tower biology: V = 13000 m^3 each - 4 intermediate clarifiers: V = 1000 m^3 each - aeration basin 1: V = 11000 m^3 - aeration basin 2: V = 25000 m^3 - 6 bottom hoppers: each V = 1520 m^3, diameter 18 m - 4 bottom hoppers: each V = 1520 m^3, diameter 20 m - 3 secondary clarifiers - 2 flotation tanks: diameter 12 m	- neutralisation: V = 600 m^3 - 1 buffer tank: V = 15600 m^3 - 1 aeration tank: V = 5000 m^3 - 1 aeration basin: V = 5500 m^3 - 4 aeration basins: V = 2000 m^3 each - 3 clarification basins: V = 3500 m^3, diameter 40 m each
Sludge treatment	thickener lime- and iron conditioning mechanical dewatering with membrane filter presses sludge combustion	sludge thickener 2 filter presses
Process data (industrial / municipal part)		
Waste water flow [m^3/d]	65000 / 65000 (dry weather)	18000
	65000 / 180000 (rainy weather)	
COD load [tonnes/d]	150 / 40	26
NH_4-N load	3 / 2.5	0.6
BOD_5 [tonnes/d]	80 / 20	8
organic N [tonnes/d]	5 / 1	
NO_3-N [tonnes/d]	3 / -	2.1
PO_4-P [tonnes/d]	1.6 / 0.8	0.07
Consumables		
O_2 input [tonnes/d]	180 (tower biology) / 30 (tank)	20
Flocculants [tonnes/yr]	50	360
Nutrients [tonnes/yr]		10.6
Electricity WWTP [MWh/yr]	39558	4320
Electricity sludge treatment [MWh/yr]	3644	145
Electricity exhaust air treatment [MWh/yr] [a]	2812	
Steam WWTP [tonnes/yr]	4241	
Steam sludge treatment [tonnes/yr]	3	
Compressed air WWTP [1000 Nm^3/yr]	199459	
Compressed air sludge treatment [Nm^3/yr]	3220	
Cross-media effect		
Sludge [tonnes dry solids/d]	77.25	7.9

	Example III	Example IV
Sludge [kg dry solids per tonne eliminated COD]	720	620
Performance data [b]		
waste water amount [m^3/d]	148615	12269
COD elimination [%]	87	91
COD emission [mg/l]	107	106

[a] off-gas thermal treatment
[b] daily mean average

	Example V	Example VI
Production	production mix, mainly organic	production mix, mainly organic
Year of construction	1977	1974-76
Function	waste water treatment for chemical production plants	denitrification and biological treatment
Process steps	neutralisation pre-clarification denitrification biological treatment final clarification flotation cooling sludge treatment	neutralisation pre-clarification denitrification final clarification biology
Plant characteristics	- neutralisation: V = 220 m^3 / V = 110 m^3 - pre-clarification: V = 1000 m^3 - 2 denitrification basins: V = 1500 m^3 each - 2 aeration basins: V = 2500 m^3 each - 2 bottom hoppers, diameter 14 m each	- neutralisation: V = 380 m^3 - 4 pre-clarification tanks: V = 750 m^3 each - 3 buffer basins: V = 9100 m^3 - aeration basin/denitrification: V = 28000 m^3 each - 16 clarification tanks, diameter 15 m
Sludge treatment	thickener polyelectrolyte conditioning centrifuge sludge drying	pre-thickening by separators dewatering of excess and other sludge landfilling
Process data		
Waste water flow [m^3/d]	8500	60000
COD load [tonnes/d]	17.5	60
NH_4-N load	0.96	
BOD_5 [tonnes/d]	9.55	
organic N [tonnes/d]	0.45	
NO_3-N [tonnes/d]	1.9	
PO_4-P [tonnes/d]		
Consumables		
O_2 input [tonnes/d]	16	15-20
Flocculants [tonnes/yr]	196.2	17
Nutrients [tonnes/yr]	7.71	91
Electricity WWTP [MWh/yr]	4204	1163
Electricity sludge treatment [MWh/yr]	625	3882
Steam WWTP [tonnes/yr]	36	641
Steam sludge treatment [tonnes/yr]	2380	120
Compressed air WWTP [1000 Nm^3/yr]	356	337
Compressed air sludge treat-ment [Nm^3/yr]	39.5	166
Cross-media effect		
Sludge [tonnes dry solids/d]	1.83	103
Sludge [kg dry solids per tonne eliminated COD]	150	2000
Performance data [a]		
waste water amount [m^3/d]	8616	61359
COD elimination [%]	84	87
COD emission [mg/l]	255	120

[a] daily mean average

	Example VII	Example VIII
Production	production mix, mainly organic	production mix, organic
Year of construction	1977	1977/78
Function	waste water pretreatment of central WWTP, 2-stage waste water treatment existing of biological treatment with simultaneous precipitation of phosphate and nitrification in a closed plant	waste water treatment for chemical and pharmaceutical production plants
Process steps	rake screen neutralisation pre-clarification biological treatment intermediate clarification nitrification final clarification	rake screen buffering, equalisation neutralisation biological stage 1 (with pure oxygen) intermediate clarification biological stage 2 final clarification
Plant characteristics	- 2 neutralisation tanks: V = 380 m^3 - 4 pre-clarification: V = 750 m^3 each - 3 buffer basins: V = 9000 m^3 each - 2 aeration basins: V = 5600 m^3 each - 1 intermediate clarifiers: diameter 20 m, surface area 300 m^2 - 2 final clarifiers: diameter 20 m, surface area 300 m^2	- neutralisation: V = 50 m^3 - 2 buffer tanks: V = 4000 m^3 each - 2 aeration basins: V = 3100 m^3 each - 1 intermediate clarifier: V = 4400 m^3 - 2 aeration basins: V = 1600 m^3 each - 2 final clarifiers: V = 2400 m3
Sludge treatment	excess sludge pumped to sludge dewatering	excess sludge treated externally
Process data		
Waste water flow [m^3/d]	8000	20000
COD load [tonnes/d]	15	60
NH_4-N load	1.5	0.1
BOD_5 [tonnes/d]		34
organic N [tonnes/d]		
NO_3-N [tonnes/d]	1.5	
PO_4-P [tonnes/d]	0.2	
Consumables		
O_2 input [tonnes/d]	30	60
Flocculants [tonnes/yr]	2.1	
Nutrients [tonnes/yr]	37.5	12
Electricity WWTP [MWh/yr]	6200	5155
Electricity sludge treatment [MWh/yr]		
Electricity exhaust air treatment [MWh/yr] [a]	675	
Steam WWTP [tonnes/yr]	2323	
Steam sludge treatment [tonnes/yr]		
Compressed air WWTP [1000 Nm^3/yr]	3261	
Compressed air sludge treatment [Nm^3/yr]		
Cross-media effect		
Sludge [tonnes dry solids/d]	3.75	3.08
Sludge [kg dry solids per tonne eliminated COD]	340	300
Performance data [b]		
waste water amount [m^3/d]	5344	3549
COD elimination [%]	83	98
COD emission [mg/l]	411	56

[a] off-gas thermal treatment
[b] daily mean average

	Example IX	
Production	production mix, organic and inorganic	
Year of construction	1974/75, expansion 1980/81	
Function	waste water treatment for chemical production plants	
Process steps	rake screen neutralisation buffering, equalisation pre-clarification biological stage 1 intermediate clarification biological stage 2 final clarification flotation off-gas treatment	
Plant characteristics	- neutralisation tank: V = 240 m^3 - 2 buffer tanks: V = 5000 m^3 each - 2 pre-clarifiers: V = 3000 m^3 - aeration basin 1: V = 6000 m^3 - 2 intermediate clarifiers: surface area 500 m^2 - aeration basin 2: V = 8000 m^3 - 6 bottom hoppers: diameter 15 m - 2 flotation cells: diameter 10 m	
Sludge treatment	excess sludge pumped to external treatment	
	Process data	
Waste water flow [m^3/d]	36000	
COD load [tonnes/d]	35	
NH_4-N load	1	
BOD_5 [tonnes/d]	20	
organic N [tonnes/d]		
NO_3-N [tonnes/d]	1	
PO_4-P [tonnes/d]		
	Consumables	
O_2 input [tonnes/d]	35	
Flocculants [tonnes/yr]	12.87	
Nutrients [tonnes/yr]	30	
Electricity WWTP [MWh/yr]	11107	
Electricity sludge treatment [MWh/yr]	219	
Electricity exhaust air treatment [MWh/yr] [a]	788	
Steam WWTP [tonnes/yr]	1615	
Steam sludge treatment [tonnes/yr]		
Compressed air WWTP [1000 Nm^3/yr]	1183	
Compressed air sludge treatment [Nm^3/yr]		
	Cross-media effect	
Sludge [tonnes dry solids/d]	4.73	
Sludge [kg dry solids per tonne eliminated COD]	250	
	Performance data [b]	
waste water amount [m^3/d]	22700	
COD elimination [%]	95	
COD emission [mg/l]	44	

[a] off-gas treatment with activated carbon
[b] daily mean average

7.6.2 Information on Waste Water Discharges (Examples)

[cww/tm/160]

	Example X			Example XI		
Production	active pharmaceutical ingredients and intermediates			inorganic fine chemicals, pharmaceuticals		
Process steps	rake screen neutralisation buffering, equalisation denitrification biological treatment, 2 stages microscreening			waste water with mainly inorganic load: - neutralisation - precipitation, flocculation, sedimentation waste water with relevant organic load treated off-site		
Pretreatment facilities				wet oxidation (H_2O_2/Fe salt) for tributary stream (COD reduction)		
Facilities for emergency situations	additional biological treatment facility V = 13500 m^3 (covering 3 days)			additional retention and treatment facilities V = 3800 m^3 and V = 1800 m^3		
Exhaust air treatment	closed facilities, except biological stages					
Waste water amount [m^3/d]	3800			3500		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	1600	100	94	150	40	
BOD_5	1100	7	>99	49	20	
NH_4-N	30	2	93			
total inorganic N		20				
total N	40	25	37.5	15	15	
total P	4.2	0.5	88	3,8	0.3	
T_F		2				
T_D		1				
T_A		1-8				
T_L		1-8				
T_M		1.5				

[a] daily mean average

	Example XII			Example XIII		
Production	large volume organic and inorganic chemicals, polymers, dyes, pharmaceutical ingredients and intermediates, municipal waste water (13 %)			pharmaceutical ingredients, pesticides, dyes		
Process steps	neutralisation sedimentation biological treatment final clarification (sedimentation)			neutralisation sedimentation tower biology with final clarification		
Pretreatment facilities	stripping (ammonia from tributary streams) extraction (tributary streams for pesticide production precipitation of heavy metals			central GAC adsorption (tributary streams from production of chlorinated nitroaromatics with high AOX load), on-site regeneration		
Facilities for emergency situations	possibility to isolate 2 aeration tanks retention volume 60000 m^3			retention facility V = 12000 m^3		
Exhaust air treatment	closed biological stages			closed biological facilities waste gas combustion		
Waste water amount [m^3/d]	430000			11000		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	1050	112	91	160	18	89 [b]
BOD_5	500	7	98.6		1	
NH_4-N	27	22	19.5	4.2	0.9	78
total inorganic N		22		50	28	44
total N						
total P	9	0.5	94		0.13	
AOX				1.1	0.16	85 [c]
T_F		2			2	
T_D		2			1	
T_A		2			3	
T_L		8				
T_M		1.5				

[a] daily mean average
[b] 96 % when considering pretreatment
[c] 99 % when considering pretreatment

	Example XIV	Example XV

Production	polymers, fibres, optical brighteners, detergents, pharmaceutical ingredients			light stabilisers, antioxidants, corrosion inhibitors, additives, stabilisers		
Process steps	neutralisation preliminary clarification biology: trickling filters, activated sludge tank final clarification			neutralisation oil-water separation flocculation, clarification denitrification 2-stage biology final clarification flotation		
Pretreatment facilities	sedimentation of natural resins in tributary streams distillation of tributary streams from pharmaceutical productions with recycling of solvent			precipitation-flocculation-sedimentation-filtration (tributary stream from organo tin production) distillation (tributary stream from amine production)		
Facilities for emergency situations	retention tank(s) V = 9500 m^3			2 buffer tanks V = 250 m^3		
Exhaust air treatment	combustion of waste gas from trickling filters and sludge thickeners			biofilter combustion of waste gas from sludge thickener		
Waste water amount [m^3/d]	14700			1300		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	2300	350	85	4750	220	95.4
BOD_5	920	18	98	2430	18	99.3
NH_4-N						
total inorganic N	65	7	89	88	14.7	83.3
total N						
total P	4.4	0.5	88.4	16	1.5	90.6
AOX	0.4	0.16	60	1.5	0.25	83.3
T_F		2			3	
T_D		2			5	
T_A		8			12	
T_L		2			8	
T_M						

[a] daily mean average

	Example XVI			**Example XVII**		
Production	organic and inorganic speciality chemicals			pharmaceutical ingredients, vitamins, organic fine chemicals		
Process steps	neutralisation preliminary clarification denitrification biological treatment with integrated final clarification			neutralisation preliminary clarification biological treatment with denitrification final clarification		
Pretreatment facilities	wet oxidation with H_2O_2 of tributary streams from production of fungicides oxidation of tributary streams containing Na_2S concentrating tributary streams containing sulphuric acid precipitation of tributary stream containing Ni and recycling Ni			precipitation of Hg and Ni from tributary streams stripping of tributary streams containing high concentrations of AOX and solvents		
Facilities for emergency situations	retention facilities V = 18000 m^3			retention facilities V = 23000 m^3 facilities for treatment with activated carbon		
Exhaust air treatment	biofilter for waste gas from buffer tanks, preliminary clarification and sludge thickener			closed biology and buffer tanks bioscrubber		
Waste water amount [m^3/d]	4300			5750		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	1750	68	96	1740	98	94.4
BOD_5	820	9	99	890	5	99.4
NH_4-N						
total inorganic N	35	3.7	89.5	45	2.7	94
total N						
total P	5	0.7	86	7	0.9	87
AOX		0.3			0.4	
T_F		2				

	Example XVI	Example XVII
[a] daily mean average		

	Example XVIII			Example XIX		
Production	textile dyes, intermediates, plastics, resins			organic dyes and intermediates, optical brighteners, antimicrobica, municipal waste water (50 %)		
Process steps	neutralisation sedimentation tower biology with integrated final clarification			2-stage neutralisation preliminary clarification 2-step biology with denitrification / nitrification final clarification		
Pretreatment facilities	recycling of nitric acid from tributary streams filtration-extraction-stripping			central high pressure wet oxidation for tributary streams with recalcitrant TOC load stripping of ammonia precipitation of Cu of effluent of wet oxidation precipitation of heavy metals from several tributary streams adsorption of special tributary streams extraction of special tributary streams, concentrate to wet oxidation NF of tributary streams from dye production (concentrate to wet oxidation, raffinate to WWTP)		
Facilities for emergency situations	retention tanks V = 10000 m^3 and V = 7500 m^3			retention tanks V = 6000 m^3		
Exhaust air treatment	closed facilities			closed facilities, except biology and final clarification off-gas with plasmacat (ozone, ionisation)		
Waste water amount [m^3/d]	16000			11000		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	620	107	83	1000	250	75 [b]
BOD_5	280	7	97.5	370	6	98.4
NH_4-N				152	13	91.5
total inorganic N	42	24	43	153	18	88
total N						
total P		1.6		7	1.1	84
AOX		1.2		8.5	1.7	80
T_F		2			2	
T_D		2			1-4	
T_A		1			1-32	
T_L		19			4-32	
T_M					1.5	

[a] daily mean average
[b] 89 % when considering wet oxidation

	Example XX
Production	vitamins, intermediates
Process steps	neutralisation primary clarification, essentially activated carbon trickling filters activated sludge plant, nitrification, denitrification final clarification
Pretreatment facilities	low pressure wet oxidation for tributary stream containing recalcitrant TOC evaporation of highly loaded organic waste water streams and subsequent incineration of residue distillation of solvent, recycling extraction of recalcitrant TOC from tributary streams hydrolysis of tributary streams containing recalcitrant TOC
Facilities for emergency situations	retention tank V = 10000 m^3 possibility to isolate and circumvent one basin

	Example XX		
Exhaust air treatment	off-gas treatment with GAC adsorption closed facilities		
Waste water amount [m^3/d]	8000		
Performance data [a]	**input [mg/l]**	**output [mg/l]**	**performance [%]**
COD	3300	167	95
BOD_5	1400	7	99.5
NH_4-N	100	5	95
total inorganic N	100	7	93
total N	155 [b]	23 [b]	85
total P	5	0.9	82
AOX	1.1	0.13	88
T_F		2	
T_D		1-2	
T_A		1	
T_L		1	
T_M		1.5	
[a] daily mean average [b] Kjeldahl-N			

7.6.3 Information on Complete-Site Waste Water Treatment Systems (Examples)

Example XXI

Example XXI describes a chemical industry site in Finland which is shared by five chemical companies (A – E), their production characteristics being:

Company	Main production	Capacity [tonnes/yr]
A	oil products and lubricants	
B	plastics and petrochemicals	
C	polyesters	max. 20000
	plasticizing agents	max. 30000
	PVC	70000-90000
D	EPS (encapsulated polystyrene	40000
E	SB-latex	17000

All companies have established or are establishing ISO 14001 standardised environmental management systems.

The situation is illustrated in Abbildung 7.5.

Information on waste water flows and treatment techniques and efficiency is detailed in Tabelle 7.2.

Waste water stream	Treatment techniques	Waste water amount [m^3/h]	Input concentration [mg/l]	Output concentration [mg/l]	Performance rate [%]
WW-1 + WW-4	GAC treatment, regeneration; pretreatment by API, sandfilter	10000	COD: 300-400 phenols: 5	COD: <100 phenols: 1-2	COD: 67-75 phenols: 60-80
WW-2 + WW-3	biochemical treatment, subsequent sludge treatment, incineration; pretreatment by stripping, several APIs, flocculation, flotation	2000	COD: 500-900 phenols: 30	COD: <100 phenols: 0.02-0.04	COD: 80-89 phenols: >99.8
D-1		12000		COD: <100	

Waste water stream	Treatment techniques	Waste water amount [m^3/h]	Input concentration [mg/l]	Output concentration [mg/l]	Performance rate [%]
				phenols: 1-2	
WW-6 (D-3)	biochemical treatment	88	COD: 870	COD: 118	COD: 86.5
WW-7 (D-4)	stripping	16-20	VCM: 100-200	VCM: 0.20	VCM: >98
WW-8 (D-5)	sedimentation, flocculation, precipitation, biological aerobic treatment, sedimentation as final clarification	240			COD: 99.1 BOD_7: 98.8 TSS: 99.7 Styrene: 99.3 Phosphorus: 98.4

Tabelle 7.2: Waste Water Flows and Treatment Details on Complex Chemical Site (Example XXI)

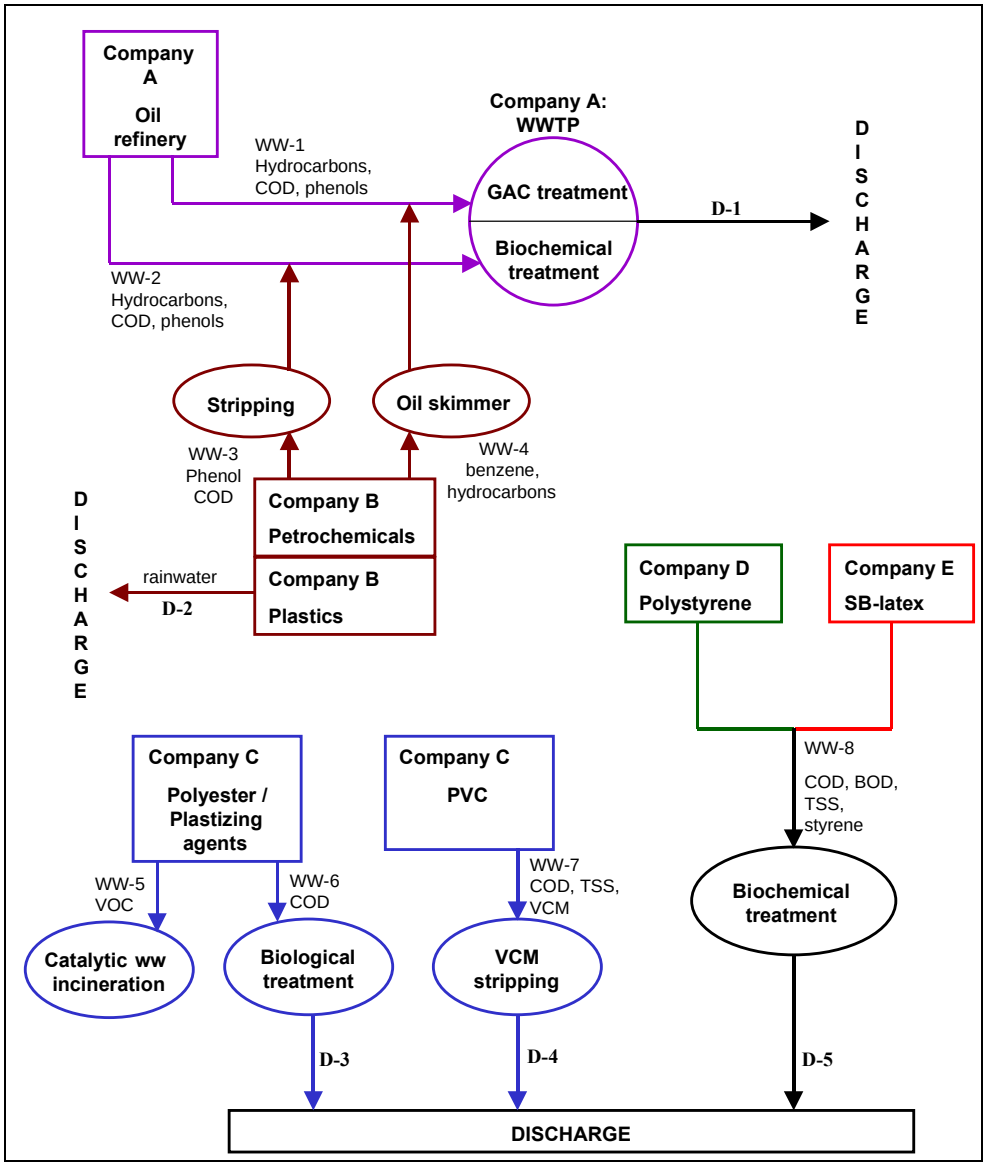

Abbildung 7.5: Situation of Complex-site Chemical Production (Example XXI)

Example XXII

Central waste water treatment of a chemical site producing organic and inorganic fine chemicals, such as pharmaceuticals, pesticides and hydrogen fluoride.

Amount of waste water: about 300 m^3/h

Waste water treatment consists of:

- stepwise neutralisation with lime to pH 9.5 to precipitate fluoride, sulphate and heavy metals, flocculation and sedimentation
- high-load activated sludge aeration with clarifier
- low-load activated sludge aeration with clarifier
- third-stage biology, biocarb carrier biology to remove refractory COD, phenols and AOX
- exhaust air purification with GAC adsorption, further treatment by incineration
- sludge dewatering, sludge sent to cement industry or landfill.

Emissions:

COD:	123 mg/l
BOD_5:	13 mg/l
phenols:	0.5 mg/l
AOX:	1.1 mg/l
total-N:	16 mg/l

The central WWTP is illustrated in Abbildung 7.6.

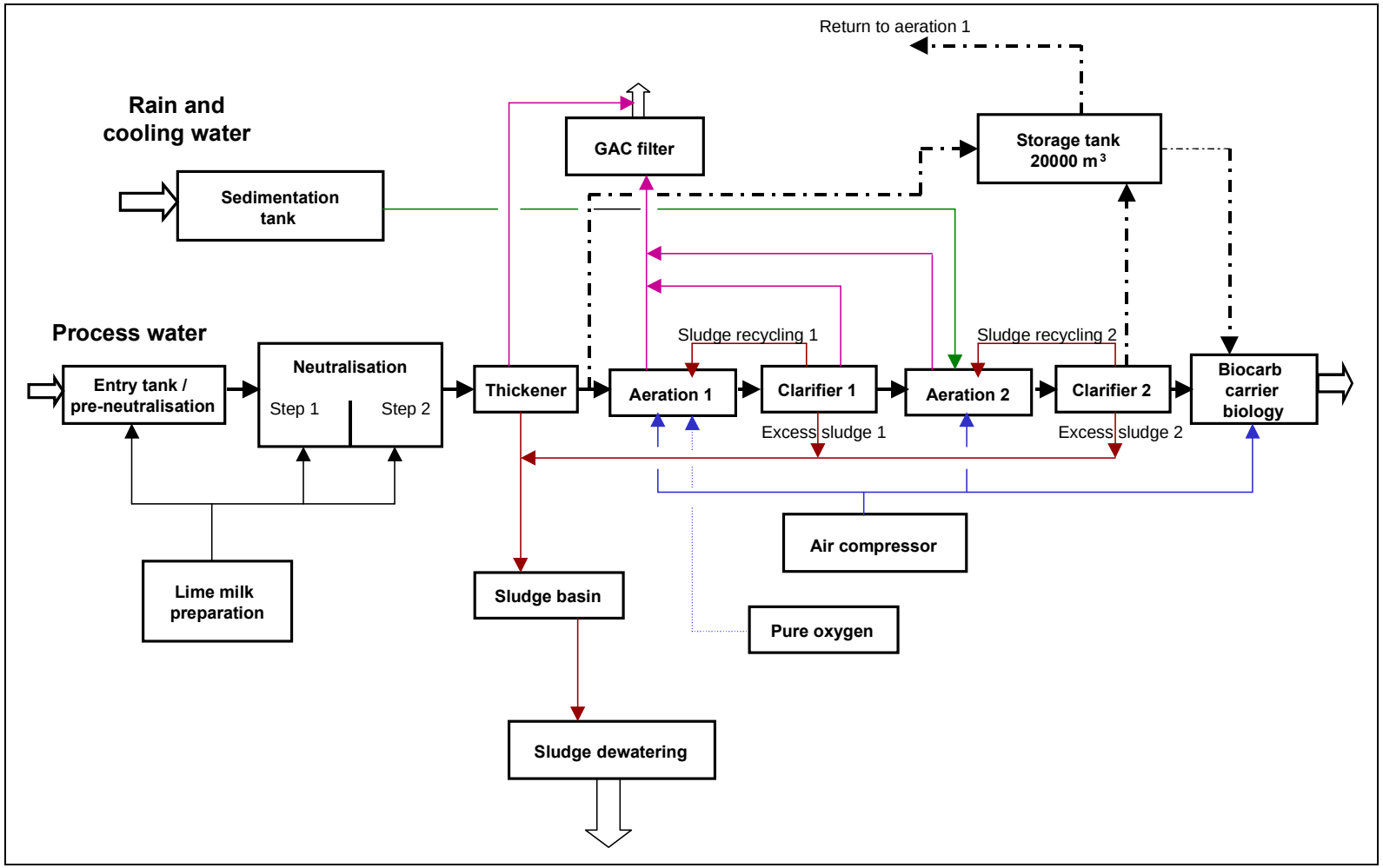

Abbildung 7.6: Central Waste Water Treatment for a Chemical Site Producing Pharmaceuticals, Pesticides

7.6.4 Examples of Heavy Metal Discharges

[cww/tm/160]

The following Tabelle 7.3 contains the concentrations of heavy metals from 23 waste water discharges. The values given are yearly averages of 24 hours mixed samples; the ones in brackets are the highest values found. The concentrations are achieved at the final discharge point, after treatment at source, without dilution with rainwater or cooling water. They depend on the share of heavy metals in the total waste water mix.

(Plant Nr.) Characterisation	Hg [µg/l] [maximum]	Cr [µg/l] [maximum]	Ni [µg/l] [maximum]	Zn [µg/l] [maximum]	Cu [µg/l] [maximum]	Cd [µg/l] [maximum]	Pb [µg/l] [maximum]	As [µg/l] [maximum]
(1) no central biology	0.32 [1.96]	-	- [20]	4 [27]	-	0.057 [0.4]	- [7]	- [1]
(2) no central biology	1.01 [2.82]	- [10]	30 [180]	54 [230]	50 [100]	0.395 [1.2]	- [32]	4 [28]
(3) no central biology	0.23 [0.7]	- [40]	60 [180]	145 [470]	20 [180]	0.276 [3.8]	-	-
(4) no central biology	0.50 [3.6]	- [60]	-	158 [540]	-	-	100 [100]	-
(5) no central biology	0.84 [2.95]	- [20]	10 [20]	-	-	-	-	-
(6) no central biology	0.10 [0.3]	-	40 [60]	-	-	0.2 [0.6]	- [6]	-
(7) no central biology	-	-	- [20]	74 [380]	30 [180]	0.083 [1.0]	10 [36]	-
(8) no central biology	-	30 [120]	80 [190]	174 [490]	60 [280]	0.833 [8.2]	10 [16]	-
(9) central biology	0.01 [0.2]	-	-	5 [70]	-	-	- [7]	-
(10) central biology	- [0.2]	- [20]	10 [40]	61 [190]	20 [50]	0.023 [1.0]	- [12]	-
(11) central biology	-	- [20]	- [10]	30 [70]	- [20]	-	- [38]	-
(12) no central biology	0.02 [0.35]	10 [60]	10 [90]	111 [230]	20 [90]	0.031 [0.8]	20 [110]	-
(13) central biology	0.11 [2.3]	- [10]	20 [95]	18 [40]	10 [20]	0.042 [0.3]	- [18]	3 [9]
(14) central biology	- [0.1]	-	- [8]	4 [20]	- [50]	0.012 [0.1]	- [10]	-
(15) central biology	0.01 [0.1]	20 [50]	50 [85]	117 [360]	30 [70]	0.212 [1.3]	- [16]	-
(16) central biology	- [0.1]	- [5]	- [13]	13 [390]	- [30]	0.006 [0.1]	- [10]	- [1]
(17) central biology	0.09 [1.3]	-	- [13]	-	20 [70]	0.018 [0.3]	- [7]	-
(18) central biology	0.01 [0.1]	-	-	-	-	0.16 [0.8]	-	-

(Plant Nr.) Characterisation	Hg [µg/l] [maximum]	Cr [µg/l] [maximum]	Ni [µg/l] [maximum]	Zn [µg/l] [maximum]	Cu [µg/l] [maximum]	Cd [µg/l] [maximum]	Pb [µg/l] [maximum]	As [µg/l] [maximum]
(19) central biology	0.45 [1.2]	-	-	64 [150]	-	-	-	-
(20) central biology	0.49 [1.6]	-	-	4 [29]	-	0.064 [1.61]	- [7]	-
(21) central biology	0.05 [0.3]	-	50 [130]	23 [60]	- [20]	0.017 [0.4]	-	-
(22) central biology	-	-	10 [30]	613 [1350]	- [50]	0.106 [0.6]	10 [34]	-
(23) central biology	<0.17	2.7	34	39	38	<0.3	<2.6	

Tabelle 7.3: Emission Levels of Heavy Metals at the Final Discharge Point [cww/tm/160]

7.6.5 Examples of Waste Gas Treatment Plants

Example 1

Process waste gas from a chemical site, several companies sharing joint equipment.

Waste gas	Treatment method	Discharge [mg/Nm^3]	Reduction [%]
Incineration of sludge from biological WWTP	ESP and wet gas scrubber	SO_2: 500 CO: 250 HCl: 1	
Process gas from phenol production	Incineration	Hydrocarbons: 14-15	Hydrocarbons: 99.5
Fugitive emissions from production of aromatic hydrocarbons	Incineration	Hydrocarbons: 5-6	Hydrocarbons: about 99
Process gas from PVC production	GAC adsorption	VC monomer: 0-5	
Company X (latex production)	Thermal destruction		95
Process gas from polystyrene production	Thermal destruction	VOC: 25	VOC about 95

Production:

- plastics and petrochemicals
- oil products and lubricants
- polyester
- plasticizing agents
- PVC
- SB-latex
- encapsulated polystyrene.

Example 2

Treatment of waste gas from incineration.

The treatment system consists of:

- venturi scrubber with alkali solution to remove HCl, some gaseous compounds and part of the solids. The acidic solution from the scrubber is neutralised with lime, the solids are removed from the solution with additives and landfilled
- radial flow scrubber to remove SO_2 with alkali or lime solution / suspension
- wet ESP, solid residues are landfilled.

Emission levels are:

PM: 2-12 mg/Nm^3
SO_2: 58-84 mg/Nm^3
CO: 2-55 mg/Nm^3
HCl: 7-22 mg/Nm^3
dioxines: 0.007-0.02 ng/Nm^3 TEQ

Example 3

Highly effective SCR to control high initial NO_x content.
[Comments from France to Draft 2]

Production	high performance abrasive grit for the manufacture of grinding wheels and sand paper
Production process	Norton SG process using nitric acid and emitting highly concentrated nitrous waste gas
Conditions:	waste gas stream 800 Nm^3/h, NOx concentration 10000 ppm
NOx abatement chosen	SCR process
Alternative abatement process	Scrubbing with peroxide / water, conversion of NOx to nitric acid
Rationale of decision in favour of SCR	• investment and operating costs of SCR seem to be reasonable • no more polluting effluents • operation and maintenance of SCR are easy
Abatement process	The gas (70-90 °C) is first diluted to reduce the NOx concentration to less than 5000 ppm. The mixture is heated to about 240 °C, the stoichiometric amount of NH_3 (NH_3/NO_x up to 1.24) sprayed as 25 % ammonia solution into it. The mixture is immediately led across the catalyst bed of granules. Finally, the waste gas is again diluted with air by a factor >10 (reduction of NOx concentration from 200 mg/Nm3 to 20 mg/Nm3) to eliminate any rust that colours the flue gas.

Performance data	
Catalyst temperature upstream:	215-225 °C
NO_x concentration downstream catalyst:	1240-1450 ppm
NO_x concentration after dilution:	50-100 ppm
ratio NH_3/NO_x (mol/mol):	1.17-1.24
NH_3 leakage:	up to 15 mg/Nm^3
NO_x conversion:	93.1-96.2 %

Costs	
Investment costs	2.4 million FFR
equipment and civil engineering	1.755 million FFR
design	0.645 million FFR]
Annual operating costs	2176 FFR/t converted NOx
Overall cost	5182 FFR/t abated NOx

7.7 Annex VII. Member States' Legislation on Waste Water and Waste Gas in the Chemical Sector

Annex VII surveys the chemical sector emission limits for waste water and waste gas in Member States. Note that there may be different criteria behind the figures, concerning such items as averaging time, reference conditions, sampling techniques, measurement and analysis and method of compliance testing.

1. AUSTRIA

Emissions to Air

No special legislation exists in Austria on emission standards for air emissions from the chemical industry. In general the "Gewerbeordnung" (BGBl. 194/1994) regulates the licensing of chemical plants and means that plants have to be "state-of-the-art" in their performance. Emission standards for air emissions from chemical plants are usually based on the German "Technical Instructions on Air Quality" (TA – Luft).

Combustion plants are regulated with the "Feuerungsanlagenverordnung" (BGBl. II 1997/331), except for steam boilers including waste heat boilers, afterburners of exhaust gases, gas turbines and combustion engines.

Emission standards for boiler plants are regulated by the "Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen" (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) and the "Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen" (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324).

- Feuerungsanlagenverordnung (Ordinance for Firing Installations) (BGBl. II 1997/331)
  The "Feuerungsanlagenverordnung" regulates emissions of combustion plants with a nominal thermal output of 50 kW or more. This ordinance is based on § 82 Abs. 1 of the Gewerbeordnung. As mentioned above, steam boilers including waste heat boilers, afterburners of exhaust gases, gas turbines, combustion engines and plants using waste as fuel are not regulated by this ordinance.

  The "Feuerungsanlagenverordnung" provides different emission standards, depending on the fuel used and the thermal output. The emission standards for coal- and coke-firing plants, oil-fired furnaces and combustion plants for gaseous fuels are presented in the following section.

  a) Coal- and coke-fired plants

Emission standards for furnaces using coal or coke							
Pollutants		Capacity [a] [MW]					
		≤0.35	>0.35-1	>1–2	>2–10	>10-50	>50
Dust	[mg/m³]	150	150	150	50	50	50
SO_2	[mg/m³]	-	-	-	-	400	200
CO	[mg/m³]	1000	1000	150	150	150	150
NO_x	[mg/m³]	-	400	400	400	350	100

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
The emission standards are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and oxygen content of 6 % in the exhaust gas.

b) Oil-fired plants

There are four different kinds of heating oils in Austria. The sulphur content in the different kinds of heating oil is laid down in the 'Verordnung über den Schwefelgehalt von Heizölen' (BGBl. 1989/94 i.d.F. BGBl. 1994/545). The following table presents the maximum sulphur content in different kinds of heating oil in Austria.

Maximum sulphur content of different kinds of heating oil	
Type of heating oil	**Maximum sulphur content**
Heating oil extra light	0.10 wt.-%
Heating oil light	0.20 wt.-%
Heating oil medium	0.60 wt.-%
Heavy fuel	1.00 wt.-%

For the lowest capacities of firing installations, the quality of heating oils to be used is restricted. Heating oils with a higher sulphur content may be used in an installation with a lower power capacity if the SO_2 emission levels in the following table are guaranteed by other measures.

Power capacities for the use of different kinds of heating oils	
Capacity [a]	**Heating oil**
≤0.07 MW	extra light
>0.07–5 MW	extra light light
5–10 MW	extra light light medium
>10 MW	all kinds of heating oils
[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel	

Some of the emission standards are different for the different kinds of heating oil. The following four tables present the emission standards for dust, SO_2, CO and NO_x in oil-firing plants.

Dust emission standards [mg/Nm^3] when using heating oils as fuel			
Fuel	**Capacity [a] [MW]**		
	>2–30 MW	**>30–50 MW**	**>50 MW**
Heating oil extra light	30	30	30
Heating oil light	50	35	35
Heating oil medium	60	50	35
Heavy fuel	60	50	35
[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel The emission standards for liquid fuels are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and an oxygen content of 3 % in the exhaust gas			

The emission standards for SO_2 and CO are related to the thermal output of the firing plants.

SO_2 emission standards [mg/Nm^3] when using heating oils as fuel		
Pollutant	**Capacity [a] [MW]**	
	>50–300 MW	**>300 MW**
SO_2	350	200
[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel The emission standards for liquid fuels are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and an oxygen content of 3 % in the exhaust gas		

CO emission standards [mg/Nm^3] when using heating oils as fuel		
Pollutant	Capacity [a] [MW]	
	≤1 MW	>1 MW
CO	100	80

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
The emission standards for liquid fuels are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and an oxygen content of 3 % in the exhaust gas

For NO_x, different emission standards for different kinds of heating oils are distinguished. Again the thermal output is a further criterion for the emission standard. The next table shows the different NO_x emission standards.

NO_x emission standards [mg/Nm^3] when using heating oils as fuel				
Fuel	Capacity [a] [MW]			
	≤3 MW	>3–10 MW	>10–50 MW	>50 MW
Heating oil extra light	150	150	150	100
Heating oil light	450	400	350	100
Heating oil medium	450	450	350	100
Heavy fuel	450	450	350	100

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
The emission standards for liquid fuels are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and an oxygen content of 3 % in the exhaust gas

c) Gas-fired plants

For plants using gaseous fuels (natural gas or liquefied petroleum gas) the "Feuerungsanlagenverordnung" only provides emission standards for NO_x and CO.

Emissions standards for gaseous fuels			
Pollutant	Fuel	Capacity [a] [MW]	
		≤3 MW	>3 MW
CO [mg/Nm^3]	Natural gas	80	80
	Liquefied petroleum gas	80	80
NO_x [mg/Nm^3]	Natural gas	120	100
	Liquefied petroleum gas	160	130

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
The emission standards for liquid fuels are related to dry exhaust gas at 0 °C, a pressure of 101.3 kPa and an oxygen content of 3 % in the exhaust gas

For combustion plants with high temperature processes, higher NO_x emissions are allowed. Using natural gas, 200 mg/Nm³ NO_x and using liquefied petroleum gas, at maximum 260 mg/Nm³ NO_x are allowed.

The requirement for continuous measurements of different pollutants depends on the fuel type and on plant capacity.

Thresholds above which continuous measurement is required				
Fuel	Pollutant			
	Dust	CO	SO_2	NO_x
Solid	>10 MW	>10 MW	>30 MW	>30 MW
Liquid	>10 MW	>10 MW	>50 MW	>30 MW
Gaseous	-	>10 MW	-	>30 MW

This ordinance came into force on 1.6.1998. Combustion plants which were improved before this date have to comply with the emission values of this ordinance within five years, or if they do exceed these values for not more than 50 % they have to keep the emission limits eight years later.

- Luftreinhaltegesetz and Luftreinhalteverordnung für Kesselanlage (Clean Air Act and Clean Air Ordinance for Steam Boilers) (LRG-K and LRV-K)
  In Austria emissions from steam boiler plants and waste heat boilers are regulated by the "Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen" (BGBl. 1988/380 i.d.F. BGBl. 1993/185, BGBl. I 1997/115, BGBl. I 1998/158) and the ordinance "Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen" (BGBl. 1989/19 i.d.F. BGBl. 1990/134, BGBl. 1994/785, BGBl. II 1997/324). The emission standards for dust, SO_2, CO and NO_x due to the Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen depend on the kind of fuel and on the thermal output of the plants.

Dust emission standards [mg/Nm^3]				
Fuel	**Capacity [a] [MW]**			
	<2 MW	**2–30 MW**	**30–50 MW**	**>50 MW**
Solid fuels [b]	150	50		
Gaseous fuels	-	5	5	5
Heating oil extra light	-	30	30	30
Heating oil light	-	50	35	35
Heating oil medium	-	60	50	35
Heavy fuel	-	60	50	35

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
[b] Wood is excluded

SO_2 emission standards [mg/Nm^3]			
Fuel	**Capacity [a] [MW]**		
	10–50 MW	**50–300 MW**	**>300 MW**
Lignite coal	400	400	400
Other solid fuels	400	200	200
Liquid fuels	1700	350	200

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel

CO emission standards [mg/Nm^3]		
Fuel	**Capacity [a] [MW]**	
	≤1MW	**>1MW**
Solid fuels	1000	150
Liquid fuels	100	80
Liquefied petroleum gas	100	
Natural gas	80	

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel

NO_x emission standards [mg/Nm^3]				
Fuel	**Capacity [a] [MW]**			
	0.35–3 MW	**3–10 MW**	**10–50 MW**	**>50 MW**
Solid fuels	400		350	200
Gaseous fuels	125	100		
Heating oil extra light	150			
Heating oil light	400	400	350	100
Heating oil medium	450		350	100
Heavy fuel	450		350	100

[a] The capacity is defined as the average of the hourly added amount of heat related to the calorific value of the fuel
The emission standards for solid fuels are related to 6 % oxygen in the exhaust gas. For liquid and gaseous fuels they are related to 3 % oxygen. All emission values are related to dry exhaust gas at 0 °C and a pressure of 101.3 kPa.

Emissions to Water

The discharge of waste water into surface water or the public sewerage system in Austria is regulated by the ordinance "Allgemeine Abwasseremissionsverordnung" (General Waste Water Emission Ordinance) (BGBl. 1996/186) and special ordinances for different industrial sectors.

These ordinances are based on the Austrian "Wasserrechtsgesetz" (Water Right Act) (BGBl. I 155/1999). Special ordinances that are of interest for plants producing organic chemicals are:

- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von Kohlenwasserstoffen und organischen Grundchemikalien BGBl. II 1999/7 (Ordinance for the limitation of waste water emissions from the production of hydrocarbons and basic organic chemicals)
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Erdölverarbeitung BGBl. II 1997/344 (Ordinance for the limitation of waste water emissions from oil refining)
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen BGBl. 1996/670 (Ordinance for the limitation of waste water emissions from the production of industrial gases)
- Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen BGBl. 1996/669 (Ordinance for the limitation of waste water emissions from the production of inorganic fertilizers or phosphoric acid and its salts).

- <u>Hydrocarbons and basic organic chemicals</u>
  The ordinance for the limitation of waste water emissions from the production of hydrocarbons and basic organic chemicals regulates the emission standards for the production of hydrocarbons and basic organic chemicals. This ordinance entered into force at the 13.1.2000. Plants, which have been approved before this date have to fulfil these requirements within the next six years. This ordinance regulates:

  i. storage of products from the processing of crude oil or crude oil fractions, which are used in the production processes of item ii to vi
  ii. production of alkenes, alkines or aromatics from processing products of crude oil or crude oil fractions with cracking, using additional steam (steam cracking)
  iii. production of chemically pure hydrocarbons or their mixtures from cracking products of item ii by using physical separation processes
  iv. production of basic organic chemicals from products of item ii or iii using alkylation, desalkylation, dehydrogenation, disproportionation, hydration, hydroxylation, hydrodesalkylation, hydrogenation, isomerization, oxidation or etherification
  v. production of nitrogen containing basic organic chemicals from hydrocarbons of item ii or iii or from substances of item iv (e. g. amides, amines, cyanates, isocyanates, lactams, nitriles, nitro-, nitroso or nitrate compounds, nitrogen containing aromatics)
  vi. production of sulphur or phosphorus containing basic organic chemicals from hydrocarbons of item ii or iii or from substances of item iv
  vii. production of halogenated basic organic chemicals from hydrocarbons of item ii or iii or from substances of item iv
  viii. storage of products from item ii to vii
  ix. cleaning of drawing-off air and aqueous condensates from actions according to item to viii
  x. cleaning of combustion gases from actions according to item i to viii with the use of aqueous substances if simultaneously physical or chemical reactions with the aim of a synthesis or production are made or if the exhaust gas of the combustion is mixed with an other waste gas and the composition of the residual exhaust gas is significantly different compared to the composition of the combustion gas.

Emission standards for the production of hydrocarbons		
General parameters	**Standards for the discharge into surface waters**	**Standards for the discharge into the public sewerage system**
Temperature	30 °C	40 °C
T_A	8	no impairment of the public waste water treatment plant
T_L	4	no impairment of the public waste water treatment plant
T_D	4	No impairment of the public waste water treatment plant
T_F	2	No impairment of the public waste water treatment plant
TSS	30 mg/l	150 mg/l
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 10
Inorganic parameters	**Standards for the discharge in surface waters**	**Standards for the discharge in the public sewerage system**
Aluminium (calculated as Al)	2 mg/l	Limited with the standard for TSS
Lead (calculated as Pb)	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Iron (calculated as Fe)	3.0 mg/l	Limited with the standard for TSS
Copper (calculated as Cu)	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Nickel (calculated as Ni)	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Mercury (calculated as Hg)	0.01 mg/l	0.01 mg/l
Zinc (calculated as Zn)	1 mg/l	1 mg/l
Tin (calculated as Sn)	1 mg/l	1 mg/l
Ammonium (calculated as N)	5 mg/l	
Chloride (calculated as Cl)	limited with standards for toxicity	
Cyanide (easily released and calculated as CN)	0.1 mg/l	0.5 mg/l
Fluoride (calculated as F)	30 mg/l	30 mg/l
Total bound nitrogen (including ammonium, nitrite and nitrate nitrogen)	40 mg/l	-
Total phosphorus (calculated as P)	2 mg/l	-
Sulphate (calculated as SO_4)	-	200 mg/l
Sulphide (easily released and calculated as S)	0.5 mg/l	1 mg/l
Organic parameters	**Standards for the discharge in surface waters**	**Standards for the discharge in the public sewerage system**
TOC (calculated as C)	25 mg/l	-
COD (calculated as O_2)	75 mg/l	-
BOD_5 (calculated as O_2)	20 mg/l	-
AOX (calculated as Cl)	0.5 mg/l	0.5 mg/l
Sum of hydrocarbons	5 mg/l	20 mg/l
POX (calculated as Cl)	0.1 mg/l	0.1 mg/l
Phenolindex (calculated as phenol)	0.2 mg/l	20 mg/l
Sum of anionic and non-ionic tensides	2 mg/l	No impairment of the public waste water treatment plant
Sum of volatile aromatics (BTXE)	0.1 mg/l	1 mg/l
To meet the emission limits, four out of five successively measured values have to be lower than the emission limit value and only one measured value may exceed the emission limit (maximum 50 % of the emission limit). The majority of the parameters have to be determined with mass proportional homogeneous daily average samples. The parameters temperature, TSS, pH, cyanide, sulphide, POX and sum of volatile aromatics (BTXE) are determined with random samples.		

Waste water from the production of the following substances has to observe the following special emission limits. The production specific emission limits are related to the installed production capacity in tonnes.

Emission limits for the production of several organic substances			
Substance		Emission standard	
		[mg/l]	[g/tonne installed production capacity]
1.	Ethylbenzene, cumene	1.0	20
2.	Acetaldehyde, vinyl acetate	1.0	30
3.	Vinyl chloride (VC)	1.0	2
4.	Trichlorophenols (TCP, all isomers)	1.0	20
5.	Trichlorobenzenes (TCB, all isomers)	0.2	2
6.	Tetrachloromethane	1.5	3
7.	Hexachlorobutadiene (HCBD)	1.5	2
8.	Ethane-1,2-dichloride (EDC)	1.0	2
9.	Trichloroethene (TRI)	1.0	3
10.	Perchloroethene (PER)	1.0	3
11.	Halogenated organic solvents except: 1,2,4-trichlorobenzene and items 6 – 11	1.0	10
To meet the emission limits, four out of five successively measured values have to be lower than the emission limit value and only one measured value may exceed the emission limit (maximum 50 % of the emission limit). The majority of the parameters have to be determined with mass proportional homogeneous daily average samples. The parameters temperature, TSS, pH, cyanide, sulphide, POX and sum of volatile aromatics (BTXE) are determined with random samples.			

For the production of acetylene with calcium carbide as raw material emission limits are set in the ordinance “Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von technischen Gasen” (BGBl. 1996/670). All acetylene plants in Austria use calcium carbide processes for acetylene production

Emission standards for the production of acetylene from calcium carbide		
General parameters	**Standards for the discharge in surface water**	**Standards for the discharge in the public sewerage system**
Temperature	35 °C	40 °C
T_L	4	No impairment of the public waste water treatment plant
T_F	2	No impairment of the public waste water treatment plant
TSS	50 mg/l	No impairment of the operation of the public sewage system or wastewater treatment plant
pH	6.5 – 9	6.5 – 10
Inorganic parameters	**Standards for the discharge in running waters**	**Standards for the discharge in the public sewerage system**
Iron (calculated as Fe)	2 mg/l	Limited with the standard for TSS
Ammonium (calculated as N)	10 mg/l	-
Cyanide (easy to release and calculated as CN)	0.1 mg/l	0.1 mg/l
Total phosphorus (calculated as P)	1 mg/l	-
Sulphate (calculated as SO_4)	-	200 mg/l
Sulphide (calculated as S)	0.1 mg/l	1 mg/l
Sulphite (calculated as SO_3)	1 mg/l	10 mg/l
Organic parameters	**Standards for the discharge in running waters**	**Standards for the discharge in the public sewerage system**
COD (calculated as O_2)	50 mg/l	-
Sum of hydrocarbons	10 mg/l	20 mg/l
Phenolindex (calculated as phenol)	0.1 mg/l	10 mg/l
To meet the emission limits, four out of five successively measured values have to be lower than the emission limit value and only one measured value may exceed the emission limit (maximum 50 % of the emission limit). The majority of the parameters have to be determined with mass proportional homogeneous daily average samples. The parameters temperature, TSS, pH, cyanide, sulphide are determined with random samples.		

The ordinance "Verordnung über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus der Herstellung von anorganischen Düngemitteln sowie von Phosphorsäure und deren Salzen " (BGBl. 1996/669) regulates the emission standards for the discharge of waste water from melamine and urea production.

Emission standards for waste water from urea and melamine production		
General parameters	**Standards for the discharge into surface water**	**Standards for the discharge into the public sewerage system**
Temperature	30 °C	35 °C
T_F	4	No impairment of the public waste water treatment plant
TSS	30 mg/l	150 mg/l
pH	6.5–8.5	6.5–9.5
Inorganic parameters	**Standards for the discharge into surface water**	**Standards for the discharge into the public sewerage system**
Ammonium (calculated as N)	0.5 kg/t	0.5 kg/t
Nitrate (calculated as N)	0.5 kg/t	0.5 kg/t
Nitrite (calculated as N)	0.02 kg/t	0.02 kg/t
Organic parameters	**Standards for the discharge into surface water**	**Standards for the discharge into the public sewerage system**
COD (calculated as O_2)	0.5 kg/t	-
The emission standards are related to the installed production capacity of the plant (related to the tonne nitrogen in the final product). To meet the emission limits, four out of five successively measured values have to be lower than the emission limit and only one measured value may exceed the emission limit (maximum 50 % of the emission limit). Most of the parameters have to be determined with mass proportional homogeneous daily average samples. The parameters temperature, filter out matter, pH and nitrite have to be determined with random samples.		

2. BELGIUM

Flemish Legislation on Waste Water and Waste Gas in the Chemical Sector

In the Flemish environmental legislation, **VLAREM**, the chemical sector is classified under different subsections:

- classification number 7 'Chemicals'
  (see Annex 1)
- classification number 17 'Hazardous Substances'
  (see Annex 2)
- classification number 20.4 'Chemical Industry, Industrial activities subject to 84/360/EEG'
  (see Annex 3)

Chemical plants are subject to some sector-specific legislation that may differ from the general environmental legislation specified in VLAREM:

- Vlarem II, Hoofdstuk 5.7 'Chemicals' (classification number 7)
  (see Annex 4)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.17 'Hazardous Substances' (classification number 17)
  (see Annex 5)
- Vlarem II, Hoofdstuk 5.20 'Industrial activities that can give rise to air pollution' (classification number 20)
  (see Annex 6)

Annex 1

7.	**CHEMICALS (see also sections 17 and 20.4)**					
7.1	Establishments which are not classified elsewhere for the production or treatment of organic or inorganic chemicals involving: - alkylation - amination with ammonia - carbonylation - condensation - dehydrogenation - esterification - halogenation and halogen manufacture - hydrogenation - hydrolysis - oxidation - polymerisation - desulphurisation, synthesis and conversion sulphur-containing compounds - nitration and synthesis of nitrogen-containing compounds - synthesis of phosphorus-containing compounds - distillation - extraction - solvatation - mixing with an annual capacity of:					
	1. up to and including 1000 tonnes	3				
	2. between 1000 up to and including 10000 tonnes	2	A,G			
	3. over 10000 tonnes	1	G,M	A	P	J
7.2	Integrated chemical installations, i.e. for the manufacture on an industrial scale of substances by chemical conversion, in which different units co-exist and are functionally interconnected, intended for the manufacture of: 1. basic organic chemicals 2. basic inorganic chemicals 3. phosphate, nitrogen or potassium-containing fertilizers (simple or composite fertilizers) 4. basic products for crop protection and biocides 5. basic pharmaceutical products with a chemical or biological process 6. explosives	1	G,M	A	P	J
7.3	Petrochemical plants or factories based on these for the cracking or vaporisation of naphtha, gas oil, LPG or other petroleum derivatives, as well as organic chemistry based thereon which is not classified elsewhere, with a processing capacity of:					
	1. up to and including 500000 tonnes per year	2	A			
	2. over 500000 tonnes per year	1	M	A	P	J
7.4	Establishments for the preparation of one of the following products: a) phenols, carbon disulphides and mercaptans, with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
	b) amines and halogenated organic compounds with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.5	Production of chlorine by electrolysis and/or by the mercury or diaphragm process with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.6	Manufacture of organic and inorganic peroxides with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J

7.	**CHEMICALS (see also sections 17 and 20.4)**					
7.7	Production of hydrogen chloride and derivatives, as well as its polymers, other than those referred to in section 5, with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.8	Production of sodium pentachlorophenol by electrolysis or hexachlorobenzene, with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.9	Production of soda (sodium carbonate) as end product and/or of calcium and sodium chloride as by-product, with an annual capacity of end product or by-product of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.10	Production of methyl cellulose by action of methyl chloride on cellulose, with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2				
	2. 10 tonnes and over	1	G,M	A	P	J
7.11	Chemical installations for the manufacture of [1,2]:		G,M,X	A	P	J
	1. basic organic-chemical products, such as: a) simple hydrocarbons (linear or cyclic, saturated or unsaturated, aliphatic or aromatic) b) oxygen-containing hydrocarbons, such as alcohols, aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters, acetates, ethers, peroxides, epoxy resins c) sulphur-containing hydrocarbons d) nitrogen-containing hydrocarbons, such as amines, amides, nitroso, nitro and nitrate compounds, nitriles, cyanates, isocyanates e) phosphor-containing hydrocarbons f) halogen–containing hydrocarbons g) organo-metallic compounds h) plastic-based products (polymers, artificial fibres, cellulose fibres) i) synthetic rubber j) dyes and pigments k) surfactants and tensides	1	G,M,X	A	P	J
	2. basic inorganic-chemical products, such as: a) gases, such as ammonia, chlorine or hydrogen chloride, fluoride or hydrogen fluoride, carbon oxides, sulphur compounds, nitrogen oxides, hydrogen, sulphur dioxide, carbonyl dichloride b) acids, such as chromic acid, hydrogen fluoride, phosphoric acid, nitric acid, hydrogen chloride, sulphuric acid, oleum, sulphurous acid c) bases, such as ammonium hydroxide, potassium hydroxide, sodium hydroxide d) salts, such as ammonium chloride, potassium chlorate, potassium carbonate, sodium carbonate, perborate, silver nitrate e) non-metals, metal oxides or other inorganic compounds, such as calcium carbide, silicon, silicon carbide	1	G,M,X	A	P	J
	3. phosphate-, nitrogen- or potassium-containing fertilizers (simple or composite fertilizers)	1	G,M,X	A	P	J
	4. basic pharmaceutical products which use a chemical or biological process	1	G,M,X	A	P	J
	5. explosives	1	G,M,X	A	P	J

[1] There may be overlapping with other subsections of sections 7, 13 and 38

[2] Manufacture in the meaning of this section is understood to mean the manufacture of the substances or groups of substances referred to in this section on an industrial scale by chemical conversion

Annex 2

17	**Hazardous Products** [1] (discharge of waste water which contains one or more of the hazardous substances referred to in list 2C of Appendix 2 to title I of the Vlarem: see section 3.5)					
17.2	Industrial activities and storage depots with risks of major accidents (EU Directive 96/82/EC of 9 December 1996 concerning the control of the hazards of major accidents involving hazardous substances)					
17.2.1	establishment in which hazardous products are present in quantities equal to or greater than the amount specified in Appendix 6, parts 1 and 2, column 2 appended to title I of the VLAREM (see also Article 7 of title I of the VLAREM)	1	G	A	P	J
17.2.2	VR-obliged establishment in which hazardous products are present in quantities equal to or greater than the amount specified in Appendix 6, parts 1 and 2, column 3 appended to title I of the VLAREM (see also Article 7 of title I of the VLAREM)	1	G	A	P	J
17.3	Establishments or storage depots for hazardous products not classified under 17.2 or 17.4 [2,3]					
17.3.1	Establishments for the industrial production of very toxic, toxic, extremely flammable, highly flammable, explosive or environmentally dangerous substances with an annual capacity of:					
	1. up to and including 10 tonnes	2			P	J
	2. 10 tonnes and over	1	G	A	P	J
17.3.2	Establishments for the storage of very toxic, toxic and explosive substances with the exception of those referred to under section 48, with a storage capacity of:					
	1. over 10 kg up to and including 100 kg	3				
	2. over 100 kg up to and including 1 tonne	2				
	3. over 1 tonne	1	G	B	P	J
17.3.3	Storage depots for oxidizing, harmful, corrosive and irritating substances, with the exception of those referred to under section 48, with a total capacity of:					
	1. 200 kg up to and including 1000 kg	3				
	2. over 1000 kg up to and including 50000 kg	2				
	3. over 50000 kg	1	G	B	P	J
17.3.4	Storage depots for extremely flammable and highly flammable liquids with the exception of those referred to under section 48, with a total capacity of:					
	1. 50 l up to and including 500 l	3				
	2. over 500 l up to and including 30000 l	2				
	3. over 30000 l	1		B		
17.3.5	Storage depots for flammable liquids with the exception of those referred to under section 48, with a total capacity of:					
	1. 100 l up to and including 5000 l	3				
	2. over 5000 l up to and including 100000 l	2				
	3. over 100000 l	1		B		
17.3.6	Storage depots for liquids with a flame point higher than 55°C but not exceeding 100°C, with the exception of those referred to under section 48, with a total capacity of:					
	1a) 5000 l up to and including 20000 l if the establishment is connected with the residential function of a property that is used mainly for residential purposes.	3				
	1b) 100 l up to and including 20000 l for establishments other than those referred to in a)	3				
	2. over 20000 l up to and including 500000 l	2				
	3. over 500000 l	1		B		
17.3.7	Storage depots for liquids with a flame point higher than 100°C, with the exception of those referred to under section 48, with a total capacity of:					
	1. 200 l up to and including 50000 l	3				
	2. over 50000 l up to and including 5000000 l	2				
	3. over 5000000 l	1		B		

17	**Hazardous Products** [1] (discharge of waste water which contains one or more of the hazardous substances referred to in list 2C of Appendix 2 to title I of the Vlarem: see section 3.5)					
17.3.8	Storage depots for environmentally dangerous substances, with the exception of those referred to in section 48, with a storage capacity of:					
	1. over 100 kg up to and including 1 tonne	3				
	2. over 1 tonne up to and including 100 tonnes	2	G			
	3. over 100 tonnes	1	G	A	E	J
17.3.9	Fuel distribution installations for motor vehicles, i.e. installations for the filling of fuel tanks of motor vehicles with liquid hydrocarbons intended to power the engine(s) fitted therein.					
	1. establishments for the distribution of the liquids referred to in section 17.3.6.1° with a maximum of 1 distribution pipe	3				
	2. establishments for the distribution of: a) the fuels referred to in section 17.3.6.2 with a maximum of 1 distribution hose and/or b) fuels referred to in section 17.3.4.1 and 2 with a maximum of 1 distribution hose	2				
	in which only the company's own vehicles are supplied	2				
	3 other establishments	1		B		
17.4	Storage depots, with the exception of those referred to under section 48, and/or points of sale of the hazardous substances referred to in Appendix 7 to title I of the VLAREM in packagings with a maximum capacity of 25 litres or 25 kilograms, provided the maximum storage is between 50 kg or 50 l and 5000 kg or 5000 l (EC directive 67/548/EEC of 27 June 1967 concerning the application of the legal and administrative provisions on the classification, packaging and marking of hazardous substances).	3				
17.5	Devices that contain over 5 dm³ of PCBs and devices of which it can be reasonably assumed that the fluids therein contain between 0.05 and 0.005% by weight of PCBs (EC directive 96/59/EC of 16 September 1996) [4]	3				

[1] This section concerns solid and liquid substances. Gases are classified in section 16.
[2] For the application of this section, "hazardous products" are considered as the substances referred to in Appendix 7 to title I of the VLAREM.
3 For the application of the classification criteria of this subsection, the main property and the flame point must be taken into account. For liquid fuels, however, only the flame point needs to be taken into account.
In this context, the "main property" is understood to mean the cataloguing according to EC directive 67/548/EEC of 27 June 1967 concerning the classification, packaging and marking of hazardous substances and EC directive 88/379/EEC of 7 June 1988 concerning the classification, packaging and marking of hazardous preparations. If a product is marked with two or more hazard symbols, the most relevant risk must be taken into account. If this is not specified in the above mentioned EC directive, the classification of the ADR regulations must be followed as laid down by the Royal Decree of 16 September 1991 concerning the transport of hazardous goods by road with the exception of explosive and radioactive substances as identified in the Belgian State Gazette of 18 June 1997.
[4] for power current condensors, the threshold applies to the total of the separate components of a combined device.

Annex 3

20.4	**Chemical industry (also see section 7):**					
20.4.1	Chemical establishments for the production of olefins, olefin derivatives, monomers and polymers not classified in section 7.3					
	1. with a production capacity of up to and including 10 tonnes per year;	2				
	2. with a production capacity of over 10 tonnes per year	1	G,M	A	P	J
20.4.2	Chemical establishments for the manufacture of organic intermediate products, not classified in section 7:					
	1. with a production capacity of up to 10 tonnes per year	2				
	2. with a production capacity of over 10 tonnes per year	1	G,M	A	P	J
20.4.3	Establishments for the manufacture of basic inorganic chemical products not classified in section 7:					
	1. with a production capacity of up to and including 10 tonnes per year	2				
	2. with a production capacity of over 10 tonnes per year	1	G,M	A	P	J
	(Establishments for the disposal of toxic and dangerous waste by incineration: see sections 2.3.4) (Establishments for the treatment of other solid and liquid waste by incineration: see section 2.3.4)					

Annex 4

CHAPTER 5.7: CHEMICALS

Section 5.7.1. General provisions

Art. 5.7.1.1

§ 1. The provisions of this chapter are applicable to the establishments specified in section 7 of the classification list.

§ 2. The substances falling within the scope of the regulations relating to hazardous substances, in particular the provisions of chapter 5.17, may only be brought into, stored at, used at and removed from the establishment on condition that the provisions of the aforementioned regulations are strictly adhered to.

§ 3. For the application of these provisions, "production capacity" means: the total capacity for an uninterrupted working period of 24 hours, multiplied by the average number of days per year during which the installations can operate, under normal conditions as regards maintenance and safety. This capacity is expressed in tonnes.

Art. 5.7.1.2

§ 1. The operator is responsible for the acceptance, manufacture, production, preparation, processing, handling, formulation, packaging and/or removal of the substances and products.

§ 2. Production of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polychlorinated terphenyls (PCTs) is prohibited.

§ 3. Production of the chlorofluorocarbons (CFCs), bromofluorocarbons (BFCs or halons), or mixtures of them, specified in appendix 5.7, is prohibited.

§ 4. In accordance with article 11 of the EU Council regulation no. 3322/88 of 14 October 1988, operators of establishments where the CFCs and BFCs referred to in § 3 are manufactured, must provide the following information to the Commission of the European Community as well as to the Environmental Licence Department, and this for each of the CFCs and BFCs referred to in § 3:

1. at the latest two months after the date of the coming into force of the present order, with respect to the year 1986, and for the whole of the period concerned:
   a) the produced quantities
   b) the commercialised quantities
   c) the quantities used for their own account
   d) the imported quantities
   e) the exported quantities
   f) the quantities removed;

finally also the quantities in stock on 31 December of the year concerned must be indicated;

2. with respect to the CFCs, not later than 31 August of each year, for the preceding period of 1 July to 30 June:
   a) the produced quantities
   b) the commercialised quantities
   c) the quantities used for their own account
   d) the imported quantities
   e) the exported quantities
   f) the quantities removed;

finally also the quantities in stock on 30 June of the year concerned must be indicated;

3. with respect to BFCs, not later than 28 February of each year, for the preceding calendar year:

a) the produced quantities
b) the commercialised quantities
c) the quantities used for their own account
d) the imported quantities
e) the exported quantities
f) the quantities removed;

finally also the quantities in stock on 31 December of the preceding calendar year must be indicated.

§ 5. The production of the following substances is prohibited except when the production of one or several of them is explicitly permitted in the environmental licence:

1. bromomethane;
2. cyanogen, hydrocyanic (prussic acid) and its salts (cyanides);
3. organic cyanides (nitriles).

Art. 5.7.1.3

§ 1. If an establishment is subject to a licence requirement because of its classification in section 7 of the classification list, any storage of dangerous substances must also meet the conditions of chapter 5.17 "Hazardous substances" of this order, providing that the storage quantities concerned fall within the scope of said chapter.
However, in the environmental licence exceptions can be indicated with respect to the separation distances between two groups and/or sub-groups with non-classified storage quantities. In such cases, the grounds for the exception must also be indicated.

§ 2. Unless specified otherwise in the environmental licence, bromomethane must be stored in pressure vessels with a contents of at most 100 kg of bromomethane per drum; the drums of bromomethane must be placed vertically, with the closing device of the drum at the top; drums of bromomethane must be protected against weather influences such as sunshine and rain and may not be stacked; during storage, the closing devices of the drums of bromomethane must be protected against mechanical damage by closing caps; empty drums must be stored as full drums;

§ 3. The construction of all spaces for the processing of hazardous products is provided in such a way that accidentally spilt substances or leaked liquids can be collected.
To prevent the spreading of fire, all spaces for the handling of extremely flammable and highly flammable liquids must be constructed in such a way that accidentally spilt substances and leaked liquids end up in a collection device and are taken to one or more collection wells by means of collection channels.
This collecting device may in no way be connected indirectly or directly to a public sewer, a surface water, a collecting basin for surface water, a ditch or a groundwater layer.
The collection device and the collection wells must be regularly emptied, and at least after each incident. The resulting waste flows must be disposed of in an appropriate manner.

§ 4. Without prejudice to any other relevant legal or regulatory provisions, the operator takes all measures required to sufficiently protect the surrounding area against the risks of fire and explosion. This includes the mandatory availability of the necessary firefighting equipment. The type of firefighting equipment required and where it should be kept is determined after consultation with the authorised fire brigade. This matter is completely unrelated to the environmental licence.
The firefighting equipment must be kept in a properly maintained condition, protected against frost, appropriately marked, easily accessible and placed in appropriate locations. It must immediately be able to be brought into operation.

§ 5. At the establishment, the necessary provisions must be present to prevent fire extinguishing water contaminated with chemicals from draining into the ground, public sewers, surface or groundwater. The collected contaminated fire extinguishing water must be disposed of in an appropriate fashion. The collection capacity for contaminated fire extinguishing water must be determined in consultation with the authorised fire brigade.

§ 6. All persons and staff working at the establishment must be fully aware of the nature of the substances and products manufactured and the dangers involved. Personnel must be well informed about the measures to be taken when irregularities occur. The operator is to provide up-to-date instructions as required. These instructions must be evaluated by the operator at least once per year.

Art. 5.7.1.4

§ 1. Unless specified otherwise in the environmental licence and as a derogation from the general emission limit values specified in chapter 4.4, the emission limit values given below - expressed in mg/Nm^3 and relating to the following circumstances: temperature 0 °C, pressure 101.3 kPa, dry gas, or wet gas if steam ejectors are used - apply to the waste gases discharged: The quantities of air supplied to a part of the installation for the dilution or cooling of the waste gas are not taken into account with the calculation of the emission values.

1. propenenitrile:
   - in the gaseous effluent of the combustion plants for the production of propenenitrile, irrespective of the mass flow: 0.2 mg/Nm^3
   - remaining, with a mass flow of 25 g/h or more: 5.0 mg/Nm^3

2. the following organic substance, at a mass flow per substance of 100 g/h or more:
   1,2-dichloroethane:
   - with the production of this compound: 5.0 mg/Nm^3
   - in other cases: 20.0 mg/Nm^3

3. total dust:
   plants for the production of biocides or active ingredients thereof, at a mass flow of 25 g/h or more:
   - for highly toxic or highly bioaccumulative and persistent biocides: 5.0 mg/Nm³
   - for highly toxic, harmful or corrosive biocides: 20.0 mg/Nm³
   - for non-harmful biocides: 100.0 mg/Nm³

§ 2. Gaseous effluents are to be collected at the place they originate and, after any necessary purification for compliance with the prevailing emission and immission conditions, discharged into the ambient air through a chimney stack. This chimney stack must be sufficiently tall to, from an environmental perspective, adequately disperse the discharged substances and not affect public health. The minimum height must be determined in accordance with the chimney stack height calculation system as specified in art. 4.4.2.3.

Section 5.7.2 The production of titanium dioxide

Art. 5.7.2.1

The provisions of this section are applicable to the establishments referred to in subsection 7.1 of the classification list, as far as these establishments belong to the sector of titanium dioxide production.

Art. 5.7.2.2

§ 1. The dumping of all solid wastes, strongly acid wastes, purifying waste materials, weakly acid wastes or neutralised wastes is prohibited.

§ 2. For existing establishments the following transitional provisions apply:

1. for existing plants making use of the sulphate process:
   the discharge of weakly acid and neutralised wastes in all waters is restricted to a value of no more than 800 kg total quantity of sulphate – i.e. corresponding to the SO_4-ions in the free sulphuric acid and in the metal sulphates – per produced tonne of titanium dioxide.
2. for existing plants making use of the chloride process:
   the discharging of weakly acid wastes, purifying waste materials and neutralised wastes in all waters is restricted to the following values for the total quantity of chloride – i.e. corresponding to the Cl-ions in the free hydrochloric acid and in the metal chlorides – per produced tonne of titanium dioxide:
   - 130 kg when use is made of natural rutile
   - 228 kg when use is made of synthetic rutile
   - 450 kg when use is made of slag;

   in the case of an establishment that makes use of more than one kind of ore, the values apply in proportion to the quantities of the ores used.

Art. 5.7.2.3

For emissions into the atmosphere the following emission limitations apply:

1. for existing plants making use of the sulphate process:
   - emission limit value for dust: 50 mg/Nm^3
   - provisions must be made to prevent the emission of acid droplets
   - the emissions of SO_x originating from the dissolution and roasting phases of titanium dioxide production are restricted to a maximum of 10 kg SO_2-equivalent per tonne of titanium dioxide produced
   - plants where the waste acids are concentrated may not discharge more than 500 mg/Nm^3 of SO_x, calculated as SO_2-equivalent
   - plants where the salts originating from the purification of wastes are roasted, are to be equipped with the best available techniques to reduce the SO_x-emissions;

2. for existing plants making use of the chloride process:
   - emission limit value for dust: 50 mg/Nm^3
   - chlorine: - daily average of: 5 mg/Nm^3
   - instantaneous value of 40 mg/Nm^3.

Art. 5.7.2.4

Regarding wastes from the titanium dioxide industry - and in particular wastes of which the discharge or dumping into water or emission into the atmosphere is prohibited - the necessary measures must be taken in order to ensure that:

1. as far as possible they are not created, or that they are reused, insofar as this is possible technically and economically;
2. they are reused or disposed of without endangering human health and without adverse effects on the environment.

The same applies to wastes generated during the recycling or purification of the aforementioned wastes.

Art. 5.7.2.5

§ 1. The quantities of SO_2, SO_3 and acid droplets - expressed in SO_2-equivalent - emitted by certain plants, must be calculated taking account of the volume of gases emitted during the specific activities concerned and the average SO_2/SO_3-content measured during the same period. The determination of the flow rate and of the SO_2/SO_3-content must be performed under the same conditions of temperature and humidity.

§ 2. Without prejudice to the provisions of article 5.7.1.4 and of chapters 2.5 and 4.4, at one or several measurement stations located near the establishment in a location which is representative for the pollution originating from the plant, the following must be monitored:

1. sulphur dioxide immissions, if use is made of the sulphate process for the production of titanium dioxide;
2. chlorine immissions, if use is made of the chlorination process for the production of titanium dioxide.

If no immission measuring station as referred to in the first paragraph is provided, measurements must be made at least 12 times per year of the total quantity of gaseous emissions of sulphur dioxide and chlorine, respectively, from the production site.

§ 3. From 1 January 1995, unless specified otherwise in the environmental licence and as a derogation from the provisions of chapter 4.4, the SO_x-emissions originating from the dissolution and roasting phases of the titanium dioxide production must be restricted to a value of no more than 10 kg of SO_2-equivalent per tonne of titanium dioxide produced.

Section 5.7.3. The production of sulphur dioxide, sulphur trioxide, sulphuric acid or oleum (fuming sulphuric acid)

Art. 5.7.3.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the sulphur dioxide, sulphur trioxide, sulphuric acid or oleum producing plants referred to in subsection 7.1 of the classification list.

§ 2. For the implementation of these provisions, the "conversion efficiency of SO_2 to SO_3" is defined as follows:

$$\text{conversion efficiency} = \frac{SO_2(in) - SO_2(out)}{SO_2(in)} \times 100\ (\%)$$

Art. 5.7.3.2

§ 1. If - in view of the gases used as raw material - it is technically possible from the viewpoint of the best available techniques, the double-contact process must be used for the conversion of SO_2 to SO_3. If it proves indispensable, in order to achieve the emission limitations corresponding to the conversion efficiency values prescribed in § 4 of this article, the emissions of SO_2 and SO_3 can be further reduced by making use of a fifth contact bed, or by means of equivalent measures. The use of any alternative process is allowed, providing that such process is at least equivalent from the perspective of pollution control and in particular providing that it guarantees the same or higher conversion rates.

§ 2. The single-contact process (without intermediary absorption) is permitted only if gases with SO_2-contents lower than 10 % are processed, or gases of which the SO_2-contents are widely varying. If it proves indispensable, in order to achieve the emission limitations corre-

sponding to the conversion efficiency values prescribed in § 4 of this article, the emissions of SO_2 and SO_3 must be further reduced by alkaline scrubbing, or by means of equivalent measures.

§ 3. The wet catalytic process is allowed only with molybdenum sulphide roasting and for flue gas desulphurisation.

§ 4. The daily average conversion rate must be at least:

1. when use is made of the single-contact process:
   a) with a feed gas containing less than 6 % SO_2, a conversion rate of at least 97.5 % must be achieved
   b) with a feed gas containing 6 % SO_2 or more, a conversion rate of at least 98.5 % must be achieved;
2. when use is made of the double-contact process:
   a) with a feed gas containing less than 8 % SO_2, a conversion rate of at least 99 % must be achieved
   b) with a feed gas containing 8 % SO_2 or more, a conversion rate must be achieved of at least:
      - 99.5 % with varying gas conditions
      - 99.6 % with constant gas conditions;
3. when use is made of the wet catalytic process, a conversion rate of at least 97.5 % must be achieved;
4. when any other process is used, a conversion rate must be achieved of at least 99 %.

§ 5. As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the following emission limit values apply for:

1. sulphur dioxide:	1700 mg/Nm^3, without prejudice to the conversion rate prescribed in article 5.7.5.1;
2. sulphur trioxide:	
• with constant gas conditions:	60 mg/Nm^3;
• in the other cases:	120 mg/Nm^3.

§ 6. In addition, in the environmental licence limit values may be imposed for the mass flow of the SO_3 and H_2SO_4 emissions (expressed in SO_3) in the emitted waste gases.

§ 7. The conversion efficiency values indicated in § 4 of this article do not apply for SO_3-generators of category 3 which are used to stimulate the emission of fly ash by the injection of SO_3 in the flue gases of heating installations. For the flue gases treated in this way, the SO_3 emission standards of the corresponding heating installation apply.

Section 5.7.4 The production of nitric acid

Art. 5.7.4.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the nitric acid producing plants referred to in subsection 7.1 of the classification list.

§ 2. As a derogation from the provisions of chapter 4.4, for nitrogen oxides in emitted gaseous effluents - expressed in NO_2 - an emission limit value applies of: 450 mg/Nm^3.
In addition, the gaseous effluents may only be emitted colourless into the ambient air. In order to achieve this, and without prejudice to the limit value prescribed in the first paragraph, the NO_2 emission may not exceed the value resulting from the calculation of the formula below:

$$NO_2 \text{ concentration} = \frac{1200}{\text{open width of the chimney mouth in dm}}$$

Section 5.7.5 The production of chlorine

Art. 5.7.5.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments referred to in subsection 7.5 of the classification list.

§ 2. As a derogation from and supplementing the provisions of section 4.4.3, the following emission limit values apply for:

1. chlorine:
   a) with plants for the production of chlorine with complete liquefaction: 6 mg/Nm^3;
   b) in the other cases: 1 mg/Nm^3;
2. mercury and its compounds:
   a) with a mass flow of 1 g/h or more: 0.2 mg/Nm^3
   b) with chlorine-alkali-electrolysis according to the amalgam process, the annual average emissions of mercury in the air removed form the cell hall may not exceed:
      i. 1.5 g per tonne of chlorine produced, for new plants
      ii. 2 g per tonne of chlorine produced, for existing plants
      iii. the mercury in the hydrogen compounds emitted into the atmosphere or burned, is included in this limit value.

§ 3. The construction of new plants for the production of chlorine according to the mercury cathode process will no longer be licensed. After the year 2010, the mercury cathode process may no longer be applied.

Section 5.7.6 The production of sulphur

Art. 5.7.6.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the sulphur producing plants referred to in subsection 7.1 of the classification list.

§ 2. With Claus-process plants, the following sulphur conversion efficiencies must be achieved:

1. with a production capacity of up to 20 tonnes of sulphur per day: 97 %;
2. with a production capacity of between 20 and 50 tonnes of sulphur per day: 98 %;
3. with a production capacity of over 50 tonnes of sulphur per day: 99 %.

Here, sulphur conversion efficiency must be understood as the proportion between the sulphur produced and the sulphur in the feed gas.

§ 3. As a derogation from the provisions of section 4.4.3, the emissions of hydrogen sulphide in the gaseous effluents may not exceed 10 mg/Nm^3. To this end, the waste gases must be passed through an incinerator.

§ 4. The SO_2-emission concentrations of Claus-process installations that form part of oil refineries are regulated by article 5.20.2.2 ("Oil refineries") of chapter 5.20.

Section 5.7.7 The production of organic chemicals or solvents

Art. 5.7.7.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing organic chemicals or solvents, referred to in section 7 of the classification list.

§ 2. The waste gases of plants for the production of 1,2-dichloroethane and of vinyl chloride must be ducted to an air emission abatement installation for gaseous effluent. As a derogation from the provisions of section 4.4.3, for 1,2-dichloroethane in the emitted waste gases an emission limit value applies of 5 mg/Nm^3.

§ 3. The waste gases from the reactor system and the absorber of an installation for the production of propenenitrile must be ducted to an incinerator. As a derogation from the provisions of section 4.4.3, for propenenitrile in the emitted waste gases an emission limit value applies of 0.2 mg/Nm^3. The waste gasses resulting from the purification of the reaction products (distillation) as well as the waste gases generated during the filling, must be ducted to a scrubber.

Section 5.7.8 The production of hydrocarbons in petrochemical plants not belonging to an oil refinery

Art. 5.7.8.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing hydrocarbons, referred to in section 7.3 of the classification list.

§ 2. Waste gases discontinuously released by process plants such as gaseous effluents resulting from the regeneration of catalytic agents or with inspection and cleaning activities must be ducted to a combustion facility, or equivalent abatement measures should be taken.

§ 3.Gaseous effluents released with the starting up or shutdown of an installation must, to the extent possible, be transported to a collection system for gaseous effluent or incinerated in process heating installations. If this is not possible the gases must be transported to a flare in which an emission level for organic substances of 1 % with respect to the total carbon content may not be exceeded.

§4. Gaseous effluents from desulphurisation installations or other sources with a volume level of hydrogen sulphide of over 0.4 % and a mass flow of hydrogen sulphide of over 2 tonnes/day must be further processed.
Gaseous effluents which are not further processed must be ducted to an incinerator.
As a derogation from the provisions of chapter 4.4, emissions of hydrogen sulphide in the discharged gaseous effluent may not exceed 10 mg/Nm^3.
Hydrogen sulphide-containing water may only be processed in such a way that the release of gaseous effluent into the atmosphere is avoided.

§ 5. With the transfer of base, intermediary and final products the emissions of organic substances with a vapour pressure of over 13.3 kPa at a temperature of 35 °C must be reduced by means of appropriate measures, such as by gas displacement systems, extraction and transfer to an effluent gas purification installation.

§ 7. Process water may only be discharged into an open system after degassing. The gaseous effluents collected here must be cleaned by washing or incineration.

Section 5.7.9 The production of carbon

Art. 5.7.9.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the plants producing carbon (hard lignite) or electrographitic carbon (e.g. used in electrodes, current collectors or parts for appliances) referred to in subsection 7.1 of the classification list.

§ 2. As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the emission limit values for organic substances in the gaseous effluent are as follows:

1. with mixing and moulding, from mixing and moulding installations where pitch, tar or other volatile binders and liquefiers are processed at increased temperatures, expressed in total carbon: 100 mg/Nm^3
2. with combustion, from furnaces with one chamber, furnaces with combined chambers and tunnel kilns, expressed in total carbon: 500 mg/Nm^3
3. with combustion, from annular kilns for graphite electrodes and carbon blocks, expressed in total carbon,: 200 mg/Nm^3
4. with impregnation, from impregnating installations where tar-based impregnating agents are used, expressed in total carbon: 50 mg/Nm^3.

Section 5.7.10 The manufacture of peroxides

Art. 5.7.10.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments referred to in subsection 7.6 of the classification list.

§ 2. Organic peroxides may only be manufactured if this is explicitly permitted in the environmental licence.
The organic peroxides, which may explode or detonate in a violent thermal reaction, at the establishment must be retained at a temperature lower than the temperature which from the point of view of safety is the permissible maximum temperature according to the nature of the substance concerned; for the substances indicated below, this maximum temperature is:

- acetyl cyclohexane sulphonyl peroxide: –10 °C
- amber acid peroxide: +10 °C
- tert.-butyl peroxyisopropylcarbonate (BPIC): room temperature
- tert.-butyl peroxypivalate: –10 °C
- dibenzoyl peroxide: room temperature
- dicyclohexyl peroxydicarbonate: +5 °C
- diisopropyl peroxydicarbonate: –15 °C.

§ 3. The peroxides referred to in § 2 which must be kept at the establishment at a temperature lower than room temperature, must be stored:

1. either in refrigerators or freezers located in the production building, in which case each refrigerator or freezer may contain a quantity of at most 30 kg non-refrigerated organic peroxides;
2. or in refrigerators or freezers, located in a detached storage building in which only the said peroxides are stored. In this case each refrigerator or freezer may contain a quantity of at most 150 kg non-refrigerated organic peroxides;
3. or in a detached cold store that is solely intended for this purpose. In this case, unless specified otherwise in the environmental licence, per cold store a quantity of at most 500 kg non-refrigerated organic peroxides may be stored.

Section 5.7.11 The production of polyvinyl chloride

Art. 5.7.11.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing polyvinyl chloride referred to in section 7 of the classification list.

§ 2. At the transition from the closed system for polymerisation or drying to the open system, the residues of vinyl chloride (VC) in the polymerisate must be kept as low as possible. With this, the following maximum monthly average values may not be exceeded:

- mass-PVC: 10 mg VC / kg PVC
- suspension-homopolymerisates: 0.10 g VC / kg PVC
- suspension-copolymerisates: 0.40 g VC / kg PVC
- micro-suspension-PVC and emulsion-PVC: 1.5 g VC / kg PVC.

§ 3. To further reduce the mass concentration of vinyl chloride in the gaseous effluent, insofar as possible the spent gas of the drying plant must be used as combustion gas in heating installations.

Section 5.7.12 The production of caprolactam

Art. 5.7.12.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing caprolactam, referred to in section 7 of the classification list.

§ 2. With the production of caprolactam according to the Raschig-process, NO_2-emissions may not exceed 15 kg NO_x/tonne of caprolactam produced.

Section 5.7.13 The production of polyacrylonitrile-based synthetic materials

Art. 5.7.13.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing polyacrylonitrile-based synthetic materials, referred to in section 7 of the classification list.

§ 2. The production and processing of propenenitrile-polymerisates for fibres.

1. For the emissions of propenenitrile in the gaseous effluent of the drying plants, an emission limit value of 20 mg/Nm^3 applies.
2. The propenenitrile-containing spent gases originating from the reaction vessels, from the intensive waste gas purging, from the suspension tank and from the washing filter, must be ducted to a spent gas scrubber or an adsorber. For the emissions of propenenitrile in the gaseous effluent of the adsorber, an emission limit value of 10 mg/Nm^3 applies.
3. With the spinning into fibres of the polymer, the waste gas flows with an propenenitrile-content of over 5 mg/Nm^3 must be ducted to an air emission abatement installation for spent gas.

§ 3. The production of ABS-resins

1. Emulsion polymerisation:
   the propenenitrile-containing gaseous effluents released during polymerisation, during precipitation or with the cleaning of the reactor, must be ducted to an incinerator; for the emissions of propenenitrile in the gaseous effluent of the drying plant an emission limit value of 25 mg/Nm^3 applies as monthly average;

2. Combined solution/emulsion polymerisation:
   the propenenitrile-containing gaseous effluents released from the reactors, during intermediary storage, during precipitation, during dehydration, with the recycling of solvents and at the mixers, must be ducted to an incinerator; for the propenenitrile emissions released near the mixer exhaust, an emission limit value of 10 mg/Nm^3 applies as monthly average.

§ 4. The production of nitrile rubber (NBR)
The propenenitrile-containing spent gases released from the butadiene recycling, during the intermediary storage of the latex and with the washing of the solid rubber, must be ducted to an incinerator.
The spent gases released during the recycling of the propenenitrile must be ducted to a spent gas scrubber.
For the emissions of propenenitrile in the gaseous effluent of the drying plant an emission limit value of 15 mg/Nm^3 applies.

§ 5. The production of dispersions by emulsion polymerisation of propenenitrile
The propenenitrile-containing gaseous effluents released from the monomer receiving vessels, the reactors, the intermediary storage tanks and from the condensers, must be ducted to a waste gas purification plant if the propenenitrile-content exceeds 5 mg/Nm^3.

Section 5.7.14 The production and processing of viscose

Art. 5.7.14.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to the establishments producing viscose, referred to in section 7 of the classification list.

§ 2. The spent gases from the viscose production, from the reprocessing of the spinning bath and from the post-treatment to produce textile rayon must be ducted to an air emission abatement installation.
As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the emission limit values for the waste gases are:

1. for hydrogen sulphide: 5 mg/Nm^3 as daily average value
2. for carbon disulphide: 0.10 g/Nm^3 as daily average value.

§ 3. With the production of cellulose wool and cellophane, the gaseous effluents from the spinning machines and from the post-treatment must be ducted to an air emission abatement installation.
As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the emission limit values for the waste gases are:

1. for hydrogen sulphide: 5 mg/Nm^3 as daily average value
2. for carbon disulphide: 0.15 g/Nm^3 as daily average value.

§ 4. With the manufacture of viscose products for all gaseous effluents – including the air extracted from the various rooms and near the machines – the following emission limit values apply until 31 December 2001:

1. for hydrogen sulphide: 100 mg/Nm^3 as daily average value
2. for carbon disulphide: 600 mg/Nm^3
3. for the sum of hydrogen sulphide and carbon disulphide: 650 mg/Nm^3.

The best available techniques must be applied to maximally reduce and if possible prevent the emissions of hydrogen sulphide and carbon disulphide.

From 1 January 2002, and as a derogation from the provisions of chapter 4.4, the following emission limit values apply for the gaseous effluent:

1. for hydrogen sulphide: 50 mg/Nm^3 as daily average value
2. for carbon disulphide different values apply according to the viscose product concerned:
   a) cellulose wool: 150 mg/Nm^3
   b) cellophane: 150 mg/Nm^3
   c) rayon (textile): 150 mg/Nm^3
   d) synthetic casings: 400 mg/Nm^3
   e) synthetic chamois: 400 mg/Nm^3
   f) rayon (technical): 600 mg/Nm^3.

Section 5.7.15 The production of enamel

Art. 5.7.15.1

The provisions of this section are applicable to the establishments producing enamel, referred to in section 7 of the classification list.

Art. 5.7.15.2

§ 1. As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the emission limit values for gaseous effluents from enamel production are:

1. for gaseous inorganic fluorides, expressed in hydrogen fluoride: 15 mg/Nm^3, with 5 mg/Nm^3 as guiding value;
2. for nitrogen oxides (NO_x), expressed in NO_2: 15 kg per tonne of enamel produced as monthly average, with a maximum concentration of 2200 mg/Nm^3 and with 500 mg/Nm^3 as guiding value.

§ 2. As a derogation from article 1.1.2, the concentrations indicated in § 1 are related to the actual oxygen content of the emitted gaseous effluents.

§ 3. Unless specified otherwise in the environmental licence, the emission values of the substances above must be measured continually using measuring equipment installed at the operator's expense that is built and operated according to a code of good practice and which has been approved by an environmental expert accredited in the discipline air.

Section 5.7.16 Batch processes in the production of fine chemicals and pharmaceuticals

Art. 5.7.16.1

For processes in the production of fine chemicals and pharmaceuticals the conditions for the emission limit value in mg/Nm^3 for batch processes not exceeding 500 kg of pure final product per batch, are replaced by the following regulation:

the process must comply with a maximum total emission of at most 15 % of the solvents input.

Annex 5

CHAPTER 5.17 THE STORAGE OF HAZARDOUS PRODUCTS

Section 5.17.1 General provisions

Art. 5.17.1.1

§ 1. The regulations in this chapter are applicable to the establishments specified in section 17 of the classification list. For the application of the provisions in this chapter, both the main property and the flashpoint must be taken into account. For liquid fuels only the flashpoint must be taken into account.

§ 2. Short-term storage in connection with transport by road, rail, inland waterways, by sea or by air, including the loading and unloading and the transfer to or from another form of transport in ports, on quays or in railway yards is not subject to the conditions of these regulations.
However, if the hazardous products referred to in these regulations are stored in storage facilities located in ports, along quays or on railway yards and if these storage facilities are intended for the regular short-term storage of such hazardous products, then these storage facilities are subject to the conditions of these regulations.

Art. 5.17.1.2

§ 1. Unless specified otherwise in the environmental licence, the operation of a category 1 establishment for the storage of other than P1, P2, P3 or P4 products is prohibited:

1. in a water abstraction area or a type I, II or III protected zone
2. in an area other than an industrial zone
3. at a distance of less than 100 metres from:
   a) a residential area
   b) parkland
   c) a recreation area.

§ 2. The prohibitory rules of § 1 do not apply:

1. for existing plants or parts of them, as specified in article 3.2.1.1
2. for hazardous products which are in a physico-chemical state such that they do not have any properties that might result in a serious accident, insofar as this has been confirmed by an expert accredited for the discipline external safety and risks for serious accidents
3. for hazardous products belonging to the actual operation of a public water abstraction.

§ 3. Unless specified otherwise in the environmental licence, the operation of a tank farm for the storage of other than P1, P2, P3 or P4 products is prohibited in a water abstraction area or a type I, II or III protected zone:

§ 4. Unless specified otherwise in the environmental licence, the storage of the following substances is prohibited :
1. bromomethane
2. cyanogen, hydrogen cyanide (prussic acid) and its salts (cyanides)
3. organic cyanides (nitriles).

Art. 5.17.1.3

§ 1. Unless specified otherwise in the environmental licence, at the entrance to category 1 establishments for which article 7 of title I of Vlarem is applicable, an identification and information sign of at least 1 m^2 must be placed, indicating at least the information below in a clearly readable way:

1. "VR-PLICHTIG BEDRIJF" (enterprise required to submit a safety report) if in accordance with article 7 § 3 of title I of VLAREM it concerns an enterprise for which a safety report is required, or
   "GEVAARLIJKE STOFFEN" (hazardous substances), at establishments for which article 7 § 1 and § 2, of title I of VLAREM is applicable
2. the operator's name, address and phone number
3. the contact and emergency (fire brigade) phone numbers.

§ 2. At the entrance to establishments for which article 7 of title I of VLAREM is applicable, an up-to-date site plan of the establishment must be kept inside a fireproof cabinet that is easily accessible to the emergency services. For all storage facilities for hazardous products at the establishment, the following information must be clearly
marked on this site plan:

1. the exact location
2. the chemical and/or technical names of the hazardous product, with the specification of the classification according to EC directives 67/548/EEC of 27 June 1967 or 88/379/EEC of 7 June 1988 and of the UN number
3. the specification whether it concerns storage in:
   a) mobile receptacles
   b) fixed aboveground containers
   c) buried containers
   d) containers placed in a trench;
4. the maximum storage capacity in tonnes or m^3
5. the normal storage temperature in °C and the storage pressure in Pa.

§ 3. The cabinet referred to in § 2 bears the notice "GS-SITUATIEPLAN" ("hazardous materials site plan"), in black letters with a height of at least 8 centimetres on a yellow background. If this cabinet is kept locked, either:

1. the key to the lock in question must be kept next to the cabinet, behind a protective glass cover that can be broken with a little hammer in an emergency
2. or the cabinet itself must be closed with a protective glass front that can be broken with a little hammer in an emergency.

§ 4. The conditions specified in § 2 and § 3 may be derogated from if an alternative system is used that is accepted by the Environmental Licence Department and which offers at least the same guarantees as regards information.

§ 5. The necessary provisions must be put in place to make the installation inaccessible to unauthorised persons.

§ 6. The provisions of § 5 are not applicable to storage facilities for liquid fuels which form part of a fuel distribution installation for motor vehicles.

Art. 5.17.1.4

§ 1. The leak-tightness of the piping, the couplings, the valves and all accessories must be ensured. They must be protected against corrosion in an effective way.

§ 2. The non-accessible pipes must be fitted in a ditch that must be filled in with a fine-grained inert material. This ditch must be impervious and must slope down to an impervious collection well.
This system may be replaced by an alternative system which offers the same guarantees as regards the prevention of ground and/or groundwater pollution. The alternative system must be accepted by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances. A certificate of this acceptance is drawn up and signed by the aforementioned environmental expert. This certificate is kept available for the perusal of the supervisory official. A copy of the certificate will be forwarded by the operator to the Environmental Licence Department.

§ 3.The fitting of piping for the transport of P1 and/or P2 products inside spaces is prohibited, except if such piping is made of a single tube (no couplings with seals), or if the spaces have been laid out and zoned in accordance with the requirements referred to in the general regulations for electrical installations, in particular the articles dealing with spaces in which an explosive atmosphere can originate.

Art. 5.17.1.5

§ 1. Without prejudice to further provisions, the necessary precautionary measures must be taken to prevent products from coming into contact with each other if:

1. this could result in dangerous chemical reactions
2. such products could react with each other to form harmful or dangerous gases and vapours
3. contact between such products could result in explosions and/or fire.

§ 2. If at the establishment products with different main properties are stored, the storage facility must be subdivided into different compartments, with in each compartment only products being stored with the same main properties.
These compartments must be delimited by means of walls, safety screens, markings on the ground, chains or fixed demarcations at a height of 1 metre.
However, products with different main properties may be stored together in a single compartment if according to appendix 5.17.1 the minimum separation distance between the products is 0 metres.

§ 3. Any manufacturing operation or other treatment not concerned with the storage or transfer of the products is prohibited inside the storage facilities and the zones delimited by the separation distances and/or screens prescribed in appendix 5.17.1

§ 4. The products may not be stored outside the storage spaces intended for this purpose. Contaminated empty mobile receptacles that have contained hazardous products must be stored in a dedicated place that must be clearly indicated.

Art. 5.17.1.6

§ 1. With respect to aboveground compartments for products with a specific main property, minimum separation distances as indicated in appendix 5.17.1 are to be observed.

§ 2. The distances specified in § 1 may be reduced by the construction of a safety screen, on the condition that the distance measured horizontally around this screen between the compartment concerned and the elements indicated in appendix 5.17.1 is equal to or larger than the minimum safety distances prescribed in § 1.
The safety screen must be made either of brickwork with a thickness of at least 18 cm, or of concrete with a thickness of at least 10 cm, or of any other material with a thickness providing

an equivalent fire-resistance coefficient. The screen has a height of at least 2 m and must exceed the maximum height of the receptacles or containers stored by at least 0.5 m.

§ 3. The aforementioned minimum separation distances may be diverted from in the environmental licence, if necessary and in particular on the basis of the results specified in the safety report or on the basis of a risk analysis drawn up by an expert accredited for the discipline external safety and risks for serious accidents.

§ 4. Unless specified otherwise in the environmental licence, the stipulations of distances to be observed do not apply to:

1. products stored in laboratories
2. products for which the total storage capacity for a specific main property per storage facility is less than the lower limit indicated in category 3 of the corresponding classification section
3. storage facilities as referred to in section 17.4.

Art. 5.17.1.7

§ 1. The necessary measures (e.g. earthing) must be taken to prevent the formation of hazardous electrostatic charges with the storage and handling of explosive, extremely flammable, highly flammable and flammable products.

§ 2. The spaces where hazardous products are stored may only be heated by means of appliances of which the location and use offer sufficient guarantees against any fire hazard or danger of explosion.

§ 3. In the spaces where hazardous products are stored:

1. no work may be carried out for which the use is required of an appliance that works with naked flame or which may generate sparks, with the exception of maintenance and/or repair work, on the condition that the necessary precautions have been taken and subject to instructions in writing being drawn up and/or initialled by the head of the Prevention and Protection Department or by the operator
2. a smoking ban applies; this smoking ban must be indicated in clearly readable letters or with the regulatory signs on the outside of the entrance doors and inside the spaces in question; the obligation to post the prescribed "no smoking" pictogram does not apply if this pictogram is posted at the entrance to the enterprise and if the ban on smoking and on open fire applies for the whole of the enterprise
3. the chimney stacks and the discharge ducts for the extracted vapours and emanations must be made of non-combustible or self-extinguishing materials.

§ 4. It is forbidden:

1. to smoke, light a fire or store combustible substances above or near the containers, near the pumps, the piping, the dispensing units, the filling areas and the unloading site for road tankers, within the bounds of the zoned locations as shown in the zoning plan, and demarcated according to the general regulations for electrical installations
2. to wear shoes or clothing that may cause sparkover in the places that are not accessible to the public.
3. to store flammable products in any location within the establishment where temperatures may exceed 40 °C as a result of heat generated by technological means.

§ 5. The prohibitory rules indicated in § 4 must be made clear using safety pictograms in keeping with the Labour Welfare Code, to the extent that such pictograms are available.

Art. 5.17.1.8

§ 1. Without prejudice to any other relevant legal or regulatory provisions, the operator takes all measures required to sufficiently protect the surrounding area against the risks of fire and explosion.
One of the implications of this is that the necessary firefighting equipment must be provided. The type of firefighting equipment required and where it should be kept is determined after consultation with the authorised fire brigade. This matter is completely unrelated to the environmental licence.
The firefighting equipment must be kept in a properly maintained condition, protected against frost, appropriately marked, easily accessible and placed in appropriate locations. The firefighting equipment must be able to be deployed immediately.

§ 2. At the establishment, in consultation with the authorised fire brigade the necessary provisions must be present to prevent fire extinguishing water contaminated with dangerous products from draining into the ground, public sewers, surface or groundwater. The collected contaminated fire extinguishing water must be disposed of in an appropriate fashion. The collection capacity for contaminated fire extinguishing water must be determined in consultation with the authorised fire brigade.

Art. 5.17.1.9

§ 1. The electrical installations, appliances and lighting appliances must meet the requirements of the General Regulations for Labour Safety or of the general regulations for electrical installations, in particular the articles dealing with spaces in which an explosive atmosphere can originate.

§ 2. Without prejudice to the regulatory provisions, in zones where there is danger of fire and explosion because of the possible accidental presence of an explosive mixture, electrical installations must be designed and installed according to the conditions of a zoning plan.

§ 3. With respect to installations for which the general regulations for electrical installations are not as yet applicable, the zoning is to take place in accordance with the provisions of article 105 of the said general regulations.

Art. 5.17.1.10

§ 1. Containers intended for the storage of extremely toxic, toxic, harmful or corrosive liquids with a vapour pressure of over 13.3 kPa at a temperature of 35 °C, must be equipped with an effective system to restrict to a minimum the air pollution during storage and handling, such as a vapour recovery system, a floating roof, or another equivalent system.

§ 2. With the loading and unloading of storage containers and/or supplying road tankers, rail tankers or tanker vessels containing the liquids referred to in § 1, air pollution must be restricted to a minimum.

Art. 5.17.1.11

§ 1. Without prejudice to the obligations from article 7 of title I of VLAREM, the operator of a category 1 establishment must keep a register or alternative data carrier in which, per main property, at least the nature and quantities of the stored hazardous products are specified.
This information must be stored in such a way that it is possible at all times to determine the quantities of hazardous products present at the establishment.

§ 2. The register or alternative data carrier referred to in § 1 is to be kept available on site for the supervisory official for a period of at least 1 month.

Art. 5.17.1.12

All personnel at the establishment must be fully aware of the nature of the hazardous products stored and the dangers involved. Personnel must be well informed about the measures to be taken when irregularities occur.
The operator must be able to prove that he has provided up-to-date instructions as required to this end.
These instructions must be evaluated by the operator at least once per year.

Art. 5.17.1.13

Unless specified otherwise in the environmental licence, solid products that are hazardous because of the concentration of leachable substances as specified in appendix 2B and/or in appendix 7 of title I of VLAREM, must be stored op an impervious base equipped with a collection system for possibly contaminated rainwater.
Extremely toxic and toxic products, products susceptible to spontaneous ignition, products reacting with water to form combustible gases and explosive products must be stored inside or under a shelter on an impervious floor.
In any event the necessary measures must be taken to prevent the product from infiltrating or being released into the public sewers, a groundwater layer or a surface water.

Art. 5.17.1.14

§ 1. Measures must be taken to ensure an effective supervision of the different spaces and storage facilities at the establishment.
If the total storage capacity at the establishment is 1 million litres of P1 and P2 products or more, the supervision must be continuous - by dedicated security personnel or by means of a permanent surveillance system equipped with effective smoke, gas or fire detection and which raises the alarm with a permanently manned security service. All this in consultation with the authorised fire brigade and an expert accredited for the discipline external safety and risk's for serious accidents.

§ 2. The buildings, containers, bunds, embankments, appliances, etc., must be kept in perfectly maintained condition. Any fault or defect that may jeopardise the protection of man and the environment must be remedied forthwith.

Art. 5.17.1.15

§ 1. Before repairs to or internal inspections of containers having contained P1 and/or P2 products may be carried out, the establishment must dispose of a procedure for such activities that has been initialled either by the operator or by the head of the Prevention and Protection Department. One of the elements of such procedure must be the cleaning of the container, proceeding according to a method that offers sufficient guarantees as regards both fire and explosion safety as well as environmental protection.

§ 2. At the workshop for the repair of containers for P1 and/or P2 products, no P1 and/or P2 products may be stored.

Art. 5.17.1.16

§ 1. The drawing off of P1 and/or P2 products into mobile receptacles must be performed either in the open air or in a well-ventilated space constructed with non-flammable materials. The necessary measures must be taken to prevent dangerous electrostatic charges from being generated during the drawing off. This place or space must be provided with signs according to the General Regulations for Labour Safety indicating a fire hazard.

§ 2. The floor of the space referred to in § 1 must be impervious and made of non-flammable materials. It must be constructed in such a way that accidentally spilt substances and leaked liquids are drained into a collection device and subsequently are taken to one or more collection wells by means of collection channels. This collecting device may in no way be connected indirectly or directly to a public sewer, a surface water, a collecting basin for surface water, a ditch or a groundwater layer.

§ 3. If P1 and/or P2 products are stored in aboveground containers, the filling of the mobile receptacles must be performed in a suitable filling area located at least 10 metres from the containers or completely outside the bund.

§ 4. P1 and/or P2 products must be handled in such a way that spillage of the liquids on the floor is avoided.

§ 5. P1 and/or P2 products must be stored in closed receptacles offering all guarantees of sealing. In addition, the sealing must be checked immediately after the filling. Receptacles found to be defective in this respect must immediately be emptied and removed from the space where the filling takes place.

§ 6. The maximum quantities of P1 and/or P2 products (number of mobile receptacles, etc.) that may be present in the spaces where the filling of the mobile receptacles takes place, may be restricted in the environmental licence.

Art. 5.17.1.17

With respect to the filling of fixed containers and road tankers the following regulations apply:

1. the necessary measures must be taken to prevent spillages of liquids and pollution of the ground, groundwater and surface water
2. the flexible hose used for the filling must be connected to the opening of the container or the conduit by means of a device with screw coupling or an equivalent system
3. each filling operation must be performed under the supervision of the operator or his appointee; said supervision must be organised in such a way that the filling operation can be monitored and that immediate action can be taken in the event of an incident
4. to prevent overfilling all fixed containers must be equipped with an overfilling protection, which may be:
   a) either a warning system, giving an acoustic signal which the supplier must always be able to hear in the filling area and which informs the supplier that the container to be filled is 95 % full; this system may be mechanical or electronic
   b) or a safety system, which automatically shuts off product flow as soon as the container to be filled is at most 98% full; this system may be mechanical or electronic
   c) at storage facilities forming part of a fuel distribution installation for motor vehicles, a safety system of the type indicated in b) must be used
5. all containers must be equipped with the possibility to measure the level
6. the filling position for the road tanker, the zones where the nozzles of the filling pipes are grouped and the filling zones at the distribution installation must always be located on the premises of the establishment and must:

a) provide sufficient strength of ground and be impervious;
b) be equipped with the necessary gradients and possibly also with upright edges, to ensure that all spilt liquids drain to a collection system; the elimination of collected liquids is effected in accordance with regulatory provisions, in particular those relating to the disposal of waste materials;

for P1 and/or P2 products this filling position and these zones must always be located in the open air or under a shelter;

no trenches, crawl spaces or rooms may be present under the aforementioned filling position and zones; in the case of weighbridges, effective arrangements must be made to limit the spreading of leaks and to preclude any danger of explosion;

the provisions of this paragraph are not applicable to storage sites for products only intended for the heating of buildings.

7. during filling with P1 or P2 products, measures must be taken to divert static electricity; the electrical connection between the road tanker and the container must be made before the filling operation is commenced and may only be broken after the filling hose has been uncoupled when the filling is completed;
8. adequate measures must be taken to maintain the storage at atmospheric pressure;
   the underground ventilation and vapour recovery piping must fulfil the same requirements as the rest of the piping; in addition, the aboveground ventilation piping must have sufficient mechanical strength
9. it is forbidden to fill a container with another liquid than the one for which the container has been designed, unless after an inspection by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or by an authorised expert, proving that the container in question is suitable for such other liquid.

Art. 5.17.1.18

The overfilling protection described in appendix 5.17.7 must be manufactured in accordance with a code of good practice accepted by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances.
The control of the construction must be performed in accordance with the selected code of good practice by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances.
The control of the construction for overfilling protection devices manufactured in series may be limited to a single approval of the prototype. The approval of the prototype must be performed by one of the aforementioned environmental experts and in accordance with the procedure of appendix 5.17.7.
The report on the approval mentions the controls carried out and must be signed by the aforementioned expert.
For each overfilling protection device the operator must dispose of a certificate signed by the constructor. This certificate must mention the number of the prototype approval certificate and the name of the environmental expert who issued the test certificate (and his accreditation number). The constructor also confirms in the certificate that the overfilling protection has been built and controlled in accordance with the provisions of title II of VLAREM.

Art. 5.17.1.19

§ 1. Organic peroxides which may explode or detonate in a violent thermal reaction must be retained at the establishment at a temperature lower than the temperature which from the point of view of safety is the permissible maximum temperature according to the nature of the substance concerned. For the substances indicated below, this maximum temperature is:

1. acetyl cyclohexane sulphonyl peroxide:	–10° C
2. succinic acid peroxide:	+10° C
3. tert-butyl peroxyisopropylcarbonate (BPIC):	room temperature
4. tert.-butyl peroxypivalate:	–10° C
5. dibenzoyl peroxide:	room temperature
6. dicyclohexyl peroxydicarbonate:	+5° C
7. diisopropyl peroxydicarbonate:	–15° C.

§ 2. Peroxides which for reasons of safety must be kept at the establishment at a temperature lower than room temperature, must be stored:

1. either in refrigerators or freezers located in the production building, in which case each refrigerator or freezer may contain a quantity of at most 30 kg non-refrigerated organic peroxides
2. or in refrigerators or freezers located in a detached storage building in which only the said peroxides are stored. In this case each refrigerator or freezer may contain a quantity of at most 150 kg non-refrigerated organic peroxides
3. or in a detached cold store that is solely intended for this purpose. In this case, unless specified otherwise in the environmental licence, per cold store a quantity of at most 500 kg non-refrigerated organic peroxides may be stored.

Art. 5.17.1.20

As regards the construction certificates, inspections and tests prescribed in this chapter, the operator must dispose of certificates in which the codes of good practice applied, the controls carried out and the relevant observations are clearly indicated. He must at all times keep the certificates concerned at the disposal of the supervisory official.

Art. 5.17.1.21

Without prejudice to the provisions of this chapter, the transport, the installation and connection of containers must be performed according to the prevailing Belgian or European standards.

Section 5.17.2 Storage of hazardous liquids in underground containers

Art. 5.17.2.1

§ 1. The necessary measures must be taken to give maximum protection to the containers against mechanical damage and corrosion.

§ 2. It is forbidden to place containers intended for the storage of P1 and/or P2 products directly under a building or under a vertical projection of a building. A lean-to is not considered as a building.

§ 3. The distance between the container and the boundaries of the parcels of third parties must be at least 3 metres. The distance between the container and the basement space of the company's own buildings must be at least 2 m. The distance between the container and the wall of the establishment's own buildings must amount to at least 0.75 m. The distance between the containers themselves must amount to at least 0.5 m.
The distance between containers for P3 and/or P4 products which do not form part of a distribution installation and the boundaries of the parcels of third parties must amount to at least 1 m.

§ 4. In the event of possible flooding or high water levels, the necessary provisions must be installed to prevent empty containers from being floated upwards.

§ 5. Without prejudice to the requirements referred to in this section, storage sites for petrol and their associated installations must comply with the provisions of section 5.17.4.

Art. 5.17.2.2

§ 1. A notice is to be provided in a clearly visible place by the container in accordance with the provisions of appendix 5.17.2.

§ 2. The following information is to be shown near the filling opening and near the manhole:

1. the number of the container
2. the name or the code numbers or letters of the stored liquid
3. the danger symbols
4. the water content capacity of the container.

The information must be clearly readable.
The provisions of this paragraph do not apply to storage sites for P3 and/or P4 products which are only intended for the heating of buildings.

Art. 5.17.2.3

§ 1. The venting pipe must open into the open air at least 3 metres above ground level and at least 3 metres from each opening in a space and the boundaries of the parcels of third parties.
Outlets of venting pipes may not be located under construction parts such as, e.g. roof overhangs.

§ 2. The provisions of § 1 are not applicable to venting pipes belonging to storage sites for P3 and/or P4 products which do not form part of a fuel distribution installation for motor vehicles. For these storage sites it is to be ensured that the place and the height of the outlet of the venting pipe does not excessively cause nuisance to the vicinity, particularly as a result of the filling of the containers

§ 3. For the storage of P1 and/or P2 products the air supply and discharge system must be shut off by an appliance that prevents the spreading of fire.

Art. 5.17.2.4

§ 1. Storage in containers directly buried in the ground is only permitted in:

1. double-walled metal containers which have been manufactured according to the provisions of appendix 5.17.2
2. containers of reinforced thermoset synthetics which have been manufactured according to the provisions of appendix 5.17.2
3. stainless steel containers which have been manufactured in accordance with a code of good practice accepted by an environmental expert, accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, or accepted by an authorised expert
4. a storage system which provides the same guarantees of the prevention of soil and/or groundwater pollution as the aforementioned containers

this storage system must be accepted by an environmental expert accredited in the discipline of containers for gases or hazardous substances; a certificate of this acceptance is drawn up and

signed by the aforementioned environmental expert; this certificate is kept available for the perusal of the supervisory official; a copy of the certificate will be forwarded by the operator to the Environmental Licence Department.

§ 2. All containers must be provided with a permanent leak detection system. This obligation does not apply for containers of reinforced thermoset synthetics or stainless steel located outside a water abstraction area or a protected zone, and of which the individual water content capacity amounts to less than 5000 l, or less than 10000 l if these containers are for the storage of P3 and/or P4 products.
The leak detection system must detect a leak inside an interstitial space formed either by an additional, solid or flexible impervious inside or outside casing, or by an impervious coat on the walls and the bottom of the excavation, and must meet the corresponding provisions of appendix 5.17.3.

§ 3. For the installation of a metal container with an individual water content capacity from 5000 l, or for the storage of P3 and/or P4 products from 10000 l and the associated ducts:

1. in a water abstraction area or a protected zone type I or II, or
2. in an area surrounding electrical conductors where major stray currents can be present, the corrosiveness of the soil and of the filling-in soil must be specified and categorised by an environmental expert accredited in the discipline soil corrosion according to the method mentioned in appendix 5.17.5.

Here the corrosiveness of the soil at the deepest point in the place where the metal container is to be installed, or the filling-in soil is to be categorised as ‘barely corrosive’, ‘moderately corrosive’, ‘corrosive’ or ‘highly corrosive’.
The determining of the corrosiveness may not take place under extreme circumstances of drought or frost.
The provisions of this paragraph may be departed from if the corrosiveness of the soil and filling-in soil has already been determined during the last five years or when without a prior soil corrosiveness investigation cathodic protection is applied. The application of this cathodic protection must take place under the supervision of an environmental expert accredited in the discipline soil corrosion.

§ 4. Cathodic protection:

1. if the result of the inspection mentioned in § 3 is ‘corrosive’ or ‘highly corrosive’, cathodic protection must be applied
2. if the result of the examination mentioned in § 3 is ‘moderately corrosive’, it may initially be decided to not install cathodic protection. In this case, corrosion monitoring on the basis of permanent or periodic potential measurements must be provided for; with a potential measurement more positive than -500 mV compared to a Cu/CuSO4 reference electrode, indicating possible corrosion or stray currents, cathodic protection must be applied
3. if the result of the inspection specified in § 3 is ‘barely corrosive’ and the container is adequately cladded, cathodic protection is not required.

The cathodic protection must bring the whole surface of the container, including the metal ducts (if this proves necessary), to a potential of -850 mV or a greater negative value measured with respect to a Cu/CuSO4 reference electrode. In anaerobic soils his potential must amount to at least -950 mV.

§ 5. The containers must be covered by a layer of earth, sand or another adapted inert material at least 50 cm thick.
Measures must be taken to prevent the passage of vehicles or the storage of goods above the containers, unless these are protected by a non-flammable and sufficiently resistant floor.

Art. 5.17.2.5

§ 1. Storage in containers placed in a trench is only allowed in:

1. single- or double-walled metal containers which have been manufactured according to the provisions of appendix 5.17.2
2. containers of reinforced thermoset synthetics which have been manufactured according to the provisions of appendix 5.17.2
3. containers of stainless steel manufactured according to a code of good practice which has been approved by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, or by an authorised expert
4. a storage system which provides the same guarantees of the prevention of soil and/or groundwater pollution as the aforementioned containers; this storage system must be accepted by an environmental expert accredited in the discipline of containers for gases or hazardous substances; a certificate of this acceptance is drawn up and signed by the aforementioned environmental expert; this certificate is to be kept available for the perusal of the supervisory official; a copy of the certificate will be forwarded by the operator to the Environmental Licence Department.

§ 2. All containers must be provided with a permanent leak detection system. This obligation does not apply for containers of reinforced thermoset synthetics or stainless steel which are located outside a water abstraction area or a protected zone, and of which the individual water content capacity is less than 5000 l, or less than 10000 l if these containers are for the storage of P3 and/or P4 products.
The leak detection system must meet the provisions of appendix 5.17.3.

§ 3. The trench must be built according to the provisions of appendix 5.17.6. The walls may not meet any property boundaries.

§ 4. At the lowest point of the trench the necessary provisions must be installed to be able to register and remove any leaked liquid or water.

§ 5. It is forbidden to give the trench any other purpose than that of storage space for the containers. Only the ducts required for the operation of the containers placed therein may be brought through the trench.

§ 6. If the container has a content greater than 2000 l, there is to be a free space around the container at least 50 cm wide to make possible the inspection of the container.

§ 7. Unless specified otherwise in the environmental licence, the filling in of the trench is compulsory for the storage of P1 and/or P2 products.
If the trench is filled up, between the container and the wall of the trench there must be a distance of at least 30 cm, and account is to be taken of the provisions of appendix 5.17.6 to this order.

§ 8. Measures must be taken to prevent the passage of vehicles or the storage of goods above the trench, unless these are protected by a non-flammable and sufficiently resistant floor.

§ 9. A prefab construction, consisting of a concrete cylindrical container in which a single-walled metal container is placed, is only allowed for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings with a water content capacity of max. 5300 l and if the metal container and the prefab concrete cylindrical container has been built as a prototype accepted by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or by an authorised expert.

Art.5.17.2.6

§ 1. The monitoring of the construction must take place in accordance with the provisions of appendix 5.17.2.
The monitoring of separately constructed containers is done by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, or by an authorised expert.
The control of containers installed in series may be limited to one prototype. The approval of the prototype is given by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, of which the accreditation allows the approval of prototypes.
The report on this approval mentions the controls carried out and must be signed by the aforementioned expert.

§ 2. For each container the operator must dispose of a "declaration of conformity of the container" signed by the constructor, drawn up according to the specimen form in appendix 5.17.2.
The containers must be provided with the identification plate applied by the constructor.

Art. 5.17.2.7

Before the installation of the container, either directly in the ground or in a trench, it must be checked whether the container and where appropriate also the trench meet the conditions of these regulations.
After installation but before the bringing into use of the container, it must be checked whether the container, the ducts and the accessories, overfilling warning or safety system, the leak detection system and, where appropriate, the cathodic protection and the provisions for vapour recovery comply with the conditions of these regulations.
The specified controls must be carried out under the supervision of an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or an authorised expert, or with a technician accredited for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings.
The monitoring of any cathodic protection must take place in collaboration with an environmental expert accredited in the discipline soil corrosion.

Art. 5.17.2.8

§ 1. At least once a year for containers located in water abstraction areas and protected zones and every two years for containers located in the other areas, the installation must be subjected to a limited examination, comprising if relevant:

1. perusal of the previous report or certificate
2. the checking of the good state of the overfilling protection
3. checking for the presence of water and sludge in single-walled containers for liquid fuels (appendix 5.17.4)
4. an inspection for any visible or organoleptically observable pollution on the surface outside the container (appendix 5.17.4)
5. an examination of the state of the external visible parts of the container, the valves, ducts, pumps, etc.
6. the checking of the effectiveness of any cathodic protection or corrosion monitoring
7. the checking of the effectiveness of the leak detection system
8. the checking of the effectiveness of the provisions for vapour recovery.

§ 2. Except for containers of reinforced thermoset synthetics, at least every 10 years for containers located in a water abstraction areas and protected zones, and every 15 years for containers located in other areas, the installation must be subjected to a general inspection, comprising:

1. the limited examination as specified in § 1
2. the state of the inner wall with an observed major presence of water or sludge; if an internal inspection is required the container must be internally cleaned; to the extent technically possible, the inner wall and the internal parts of the container must be investigated, and where appropriate a non-destructive inspection will be carried out to determine the wall thickness of the container
3. the state of the outer cladding, to the extent technically possible and without the container having to be exposed for this
4. where appropriate, in particular in the situation described in article 5.17.2.4, § 3, the detection of possible corrosion on the basis of a potential measurement and a measurement of the corrosiveness of the adjacent soil
5. a seal test on directly buried in the ground single-walled containers at an overpressure of at least 30 kPa for a period of minimum 1 hour or at an underpressure of a maximum of 30 kPa; testing at an overpressure of more than 30 kPa may only be carried out if the containers are completely filled with water for this;
   non-accessible single-walled ducts must be tested at an overpressure of at least 30 kPa for a period of 1 hour;
   an equivalent seal test, carried out according to a code of good practice accepted by the Environmental Licence Department, is also allowed.

§ 3. The periodic examinations, as referred to in § 1 and § 2, must be carried out by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, by an authorised expert, or by a technician accredited for storage sites for P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings.
The inspection with respect to corrosion and cathodic protection must take place in collaboration with an environmental expert accredited in the discipline soil corrosion.

Art. 5.17.2.9

Following the inspections described in article 5.17.2.7 with the installation and/or the periodic investigations referred to in article 5.17.2.8, the experts or the accredited technician will draw up a certificate from which it unambiguously appears whether or not the installation complies with the conditions of these regulations. The aforementioned conformity certificate also mentions the name and the accreditation number of the expert or accredited technician who has conducted the inspection.
He then applies a clearly legible sticker or plate to the filling pipe, on which his/her accreditation number, the year and the month of the inspection on installation and the last inspection conducted are mentioned.
The sticker or plate must have the following colour:

1. green, when the container and the installation comply with the provisions of these regulations
2. orange, when the container and the installation do not comply with the provisions of these regulations, but the faults established cannot cause pollution outside the container
3. red, when the container and the installation do not comply with the provisions of these regulations and the faults observed can lead or have led to pollution outside the container.

Art. 5.17.2.10

Only containers of which the filler pipe is provided with a green sticker or plate, as referred to in article 5.17.2.9, may be filled, replenished and operated.
Containers of which the filler pipe is provided with an orange sticker or plate, as referred to in article 5.17.2.9, may be filled or replenished during a transitional period of a maximum of 6 months starting on the first day of the month following the month mentioned on the orange sticker or plate. In this case a new control must take place before the expiry of the aforementioned term.
Containers of which the filler pipe is provided with a red sticker or plate, as referred to in article 5.17.2.9, may in no event be filled or replenished.

Art. 5.17.2.11

§ 1. The following are considered as existing containers for the storage of P1, P2, P3 or P4 products:

1. containers of which operation was licensed on 1 January 1993 or for which the application for the renewal of the environmental licence was being processed on the aforementioned date by the competent authority
2. containers which on 1 September 1991 had already been brought into use and without the application of title I of the General Regulations for Labour Safety were not classified as hazardous, unhealthy or nuisance-producing establishments
3. containers for which before 1 July 1993 notification took place in accordance with the provisions of Title I of VLAREM.

These containers continue to be existing containers, also with the renewal of the environmental licence.

§ 2. Existing containers for the storage of other than P1, P2, P3 or P4 products are containers of which their operation was licensed on 1 May 1999 or for which the application for the renewal of the environmental licence was being processed on the aforementioned date by the competent authority.
These containers continue to be existing containers, also with the renewal of the environmental licence.

§ 3. The distance and prohibitory rules as well as the provisions of this section concerning the method of construction and installation of the containers, the associated ducts and the filling point are not applicable to existing containers.

§ 4. The general inspection as referred to in article 5.17.2.8, § 2 must take place for a first time no later than on the dates mentioned in the table below, depending on the location, the nature of the stored liquid and the category.

		Location with respect to water abstraction areas or protected zones	
Product	**Category**	**Inside**	**Outside**
P1, P2	1, 2, 3	1 August 1997	1 August 1999
P3, P4	1, 2	1 August 1997	1 August 1999
P3, P4	3	1 August 1998	1 August 2000
Other	1, 2, 3	1 January 2002	1 January 2003

In anticipation of this general inspection the containers may continue to be used.
Before the same dates a corrosiveness inspection in accordance with article 5.17.2.4, § 3 must take place on the following buried metal containers with an individual water content capacity of 5000 l or those for the storage of P3 and/or P4 products from 10000 l as well as the associated ducts:

1. single-walled containers
2. double-walled containers inside a water abstraction area or a protected zone type I and II
3. double-walled containers inside the surrounding area of electrical conductors where major stray currents can be present.

From the date of the first general inspection, the periodic examinations must be conducted according to the provisions of article 5.17.2.8 and 5.17.2.9.

§ 5. Without prejudice to the particular conditions imposed in the environmental licence, the containers must comply with the provisions of this chapter no later than the dates mentioned in the table below related to:

1. overfilling warning or safety system
2. leak detection
3. cathodic protection.

		Location with respect to water abstraction areas or protected zones	
Product	**Category**	**Inside**	**Outside**
P1, P2	1, 2, 3	1 August 1998	1 August 2000
P3, P4	1, 2	1 August 1998	1 August 2000
P3, P4	3	1 August 1999	1 August 2001
other	1, 2, 3	1 January 2003	1 January 2005

§ 6. With the replacement of the containers referred to in § 1 or § 2, the new container must comply with all conditions of these regulations, except for that regarding the stipulations of distances to be observed.

§ 7. For storage sites which form part of a fuel distribution installation for motor vehicles, the provisions of § 5 can be departed from according to the provisions of article 5.17.5.7.

Art. 5.17.2.12

§ 1. If leaks are observed the operator will take all measures required to avoid the danger of explosion and restrict further soil and groundwater pollution to the extent possible.

§ 2. After professional repairs have taken place, the container may only be brought back into use providing it has successfully undergone a seal test as specified in article 5.17.2.8.

§ 3. With the final putting out of use of containers, whether or not due to leaks, the container must be emptied, cleaned and removed within a period of 36 months without prejudice to the provisions of the decree of 2 July 1981 concerning the prevention of waste and waste materials management and its implementing decisions.
With the material impossibility of removal, within the same term, after consultation with an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, with an authorised expert or for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings or with an accredited technician, the container must be emptied, cleaned and filled with sand, foam or an equivalent inert material. Here the necessary measures relating to explosion safety and the prevention of groundwater pollution must be taken.

§ 4. Liquids which have caused ground pollution or spillage into the sewer system, the surface waters, the groundwater layers or onto adjacent properties must be immediately reported by the operator to the Environmental Inspection Department, to the Governor of the Province and to the Burgomaster.

Section 5.17.3 Storage of Hazardous Liquids in aboveground containers

Art. 5.17.3.1

§ 1. The containers must be placed in or above a bund in order to prevent the spreading of fire, and to prevent soil and/or groundwater pollution. Equivalent collection systems can be permitted in the environmental licence.
Double-walled containers fitted with a permanent leak detection system do not have to be placed in or above a bund.

§ 2. Unless specified otherwise in the environmental licence, the storage of P1 and/or P2 products in fixed containers in basements or aboveground spaces is prohibited. It is forbidden to install storage sites for P1 and/or P2 products in moveable receptacles in basement floors.

Art. 5.17.3.2

§ 1. Fixed containers must be built according to the provisions of appendix 5.17.2.

§ 2. All metal parts of containers intended for the storage of P1 and/or P2 products, including the floating roof of the containers, must be equipotential.

Art. 5.17.3.3

§ 1. The control of the construction of fixed containers must take place according to the provisions of appendix 5.17.2.
The control of separately built containers must take place by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or by an authorised expert.
The control of containers installed in series may be limited to one prototype; the approval of the prototype is given by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances, of which the accreditation allows the approval of prototypes.
The report on this approval mentions the controls carried out and must be signed by the aforementioned expert.

§ 2. For each container the operator must dispose of a “declaration of conformity of the container” signed by the constructor, drawn up according to the specimen form in appendix 5.17.2.
The containers must bear the identification plate applied by the constructor.

Art. 5.17.3.4.

Before the installation of the fixed container it must be checked that the container and/or the foundations meet the conditions of these regulations.
After installation, but before the bringing into use of the container, it must be checked whether the container, the ducts and the accessories, the overfilling warning or safety system, the bund and the firefighting resources, and where appropriate, the leak detection system and the provisions for vapour recovery comply with the conditions of these regulations.
The specified controls must be carried out under the supervision of an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or an authorised expert for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings, or an accredited technician.

Art. 5.17.3.5

§ 1. An identification plate must be applied to fixed containers in a visible and easily accessible place in accordance with the provisions of appendix 5.17.2.

§ 2. The following indications must be applied near the filling opening and in a clearly visible place on the fixed container:

1. the number of the container
2. the name or the code numbers or letters of the stored liquid
3. the danger symbols
4. the water content capacity of the container.

The provisions of this paragraph are not applicable to storage sites for P3 and/or P4 products which are only intended for the heating of buildings.

§ 3. On moveable receptacles the name of the product mentioning the main property must be applied.

Art. 5.17.3.6

§ 1. The bund and the foundations for fixed containers with an individual water content capacity from 10000 l must be built according to a code of good practice under the supervision of and according to the directions of an architect, a civil engineering architect, a civil structural engineer or an industrial architectural engineer.
For storage sites classified in category 1 or 2, the aforementioned expert confirms in a certificate that he accepts the code of good practice used and that this was adhered to.

§ 2. Fixed containers must be placed on a supporting block or surface of sufficient dimensions to prevent the load causing uneven slumps, from which a danger of toppling or breakage could originate. For the installation of containers with an individual water content capacity from 50000 l a stability study is conducted by the expert specified in §1.

§ 3. The bund must be resistant to the action of the stored liquids and must be impervious. The bund must be sufficiently strong to withstand the liquid mass which could escape in the event of the breakage of the largest container placed in the bund.
The floor must be provided in such a way that the spreading of the leaked liquids remains minimal and the leaked liquids can be easily removed.

§ 4. If the bund is made of earthen dams, these dams must be made of a very clayish, solid and strongly compressed earth, of which the gradients are a max. 4/4 and the thickness on the top side is to be at least 50 centimetres. The floor may be made of the same materials. The dams must be sown with grass. At the base, carefully calculated supporting walls with a maximum height of one metre may be constructed.

§ 5. The passage of ducts through the bund is only allowed if the sealing of the bund remains assured.

§ 6. If the bund is wider than 30 metres, the escape ladders or stairs must be positioned so that a person fleeing does not have to travel a distance greater than half the width of the bund plus 15 metres to reach an escape ladder or stairs.

Art. 5.17.3.7

§ 1. For storage sites in fixed containers or moveable receptacles located inside a water abstraction area and/or protected zone, the minimum capacity of the bund is to be equal to the total water content capacity of all containers and/or receptacles placed therein.

§ 2. For storage places in fixed containers located outside a water abstraction area and/or protected zone, the minimum capacity of the bund must be determined as follows (double-walled containers fitted with a permanent leak detection system not included):

1. for the storage of P1, P2, highly toxic, toxic and explosive products, the greatest of the following values:
a) the water content capacity of the largest container, increased by 25 % of the total water content capacity of the other containers in the bund
b) half of the total water content capacity of the containers placed therein;
2. for the storage of P3, harmful, irritating, oxidising, corrosive and environmentally harmful products: the water content capacity of the largest container;
3. for the storage of P4 products and extra heavy heating oil, irrespective of the flashpoint: only the presence of a upright edge is required
4. for the storage of P1 and/or P2 products in aboveground spaces and basements: the total water content capacity of all containers placed therein.

For the storage of products with various main properties the strictest of the regulations must be adhered to. Here account must also be taken of the flashpoint.

§ 3. For storage sites located outside a water abstraction area and/or protected zone for products other than P1 and/or P2 products in moveable receptacles, the capacity of the bund must be restricted to 10 % of the total water content capacity of the receptacles stored therein. In each case the capacity of the bund must be at least equal to the capacity of the largest receptacle placed in the bund.

§ 4. For storage sites located outside a water abstraction area and/or protected zone for P1 and/or P2 products in moveable receptacles, the capacity of the bund must be 25 % of the total water content capacity of the receptacles stored therein. The capacity may be reduced to 10% if, after consultation with the authorised fire brigade, a suitable fire extinguishing installation is provided. In each case the capacity of the bund must be at least equal to the capacity of the largest receptacle placed in the bund.

Art. 5.17.3.8

Unless specified otherwise in the environmental licence, the distance between the containers is to be at least 0.5 m, and between the containers and the inner walls of the bund or the bottom the dams at least half the height of the containers.
This last obligation does not apply:

1. for the storage of hazardous liquids in double-walled containers or containers with ring cladding or similar protection which ensures that any leaked liquid stays inside the bund, or
2. for the storage of P4 products or extra heavy heating oil, irrespective of the flashpoint.

Art. 5.17.3.9

Without prejudice to other provisions of these regulations, storage sites for P1 and/or P2 products in moveable receptacles must comply with the following conditions:

1. the storage must be protected against detrimental consequences of the action of the rays of the sun or the radiation of any other heat source
2. the storage of P1 and/or P2 products together with other liquids is allowed providing that these last liquids the do not increase the risk of or risks associated with an accident
3. storage sites in a building are constructed as prescribed in article 52 of the General Regulations for Labour Safety
4. storage sites outside buildings particularly built for the storage of these liquids and which do not meet the provisions of article 52 of the General Regulations for Labour Safety must be at least 10 m from each neighbouring building
5. doors in closed storage sites open outwards and are self-closing; with double doors 1 door must remain continually locked; the other door must be self-closing; the doors may remain temporarily opened if this is required for technical operating reasons. In the event of a fire they must also automatically close. The use of sliding partitions is allowed on the condition that these partitions, or the storage space, have one or more doors which meet the requirements of the aforementioned regulations
6. all storage sites must be adequately ventilated, either naturally or artificially.

Art. 5.17.3.10

§ 1. The construction of all spaces for the processing of hazardous products is provided in such a way that accidentally spilt substances or leaked liquids can be collected.
To prevent the spreading of fire, the construction of all spaces for the processing of P1 products must be provided in such a way that accidentally spilt substances and leaked liquids arrive in a collection device and are then taken by collecting channels to one or a multiple of collection drains.
This collecting device may in no way be connected indirectly or directly to a public sewer, a surface water, a reservoir for surface water, a ditch or a groundwater layer.

§ 2. The contents of a leaking container must be immediately loaded or pumped into a different suitable container. Spilt liquids must be immediately localised and placed in a drum for this purpose. At establishments the necessary emergency materials, such as absorption and neutralisation material, oversized drums, protection resources, etc., must be present to, in the event of leaks, be able to immediately respond to faulty packing, spills and other incidents and maximally restrict possible harmful consequences.

§ 3. Collection devices and collection basins must be regularly emptied, and at least after each incident. The waste material flows obtained must be disposed of in an appropriate manner.

Art. 5.17.3.11

All necessary measures must be taken to regularly remove any rainwater that may enter the bund.
Before the rainwater is removed, the operator will ensure there is none of the stored product present in the water. If the water contains stored products, he will take all the necessary measures to prevent the pollution of soil groundwater and surface water.

Art. 5.17.3.12

§ 1. In areas surrounding tank farms inside a water abstraction area and/or a protected zone, after consultation with the local water authority or an environmental expert accredited in the disciplines groundwater or soil, observation pipes (measuring wells) are to be installed in accordance with the provisions of appendix 5.17.3 concerning the detection of leaks in gas or liquid form outside the storage container.

The observation pipes (measuring wells) are to be made of a material that cannot be affected by the stored liquids.
The whole length of the piping is to be provided as filter piping; it is to have an internal diameter of at least 5 cm, reach a minimum of 1 m deeper than the lowest level of the phreatic groundwater table and be sealed above.
Unless specified otherwise in the environmental licence, at least three observation pipes must be installed.
The plans for the work and the drilling reports are to be available for inspection by the supervisory official.

§ 2. The operator will regularly check the groundwater in the measuring wells for the presence of pollution.
For tank farms, at least every 2 years a groundwater investigation must take place, either by the operator, with equipment and according to a method approved by an environmental expert accredited in the discipline groundwater, or by the aforementioned environmental expert himself.

Art. 5.17.3.13

§ 1. Minimum extinguishing and cooling provisions
A tank farm for the storage of P1 and/or P2 products must be provided with an effective, permanent foam installation and/or an extinguishing or cooling installation suitable to the circumstances, and this after consultation with the authorised fire service.
The establishment must dispose of a quantity of water to be able to spray and/or cool the containers for a sufficient period. With the failure of the normal electricity supply, the working of the extinguishing or cooling installations must be assured by emergency power units or equivalent emergency installations.

§ 2. Establishments with containers for the storage of P1 products classified in category 1 which are not manned or only manned during ordinary working hours must, after consultation with the authorised fire brigade, be equipped with an effective smoke, gas or flame detection system which gives an alarm at a manned monitoring department.

§ 3. For the storage of P1 and/or P2 products in tank farms, the firefighting resources must be examined when bringing into use by an expert accredited for the discipline external safety and risks for serious accidents or by an authorised expert, unless this inspection is wholly or partly conducted by the authorised fire brigade, by the Head of Prevention and Protection or by his appointed party after consultation with the authorised fire brigade.

Art. 5.17.3.14

The accessibility of the tank farm must be conceived in such a way that:

1. traffic in the zones where a reasonable danger of fire and explosion exists must be kept to a minimum
2. the tank farm must have easy access
3. easy access for the intervention material
4. vehicles with which products are taken away or delivered must, during loading or unloading, to the extent technically possible be located at a loading/unloading place with larger dimensions than an ordinary road lane.

Art. 5.17.3.15

§ 1. The operator of a tank farm will keep a file at appropriate places at the establishment for the authorised fire brigade, with at least the following information:

1. a map of the tank farm and the access roads
2. a description of the firefighting resources with their indication on a map
3. a description of the stored products with the main physical and chemical properties (danger cards) with the specification of the listing of EC directive 67/548/EEC of 27 June 1967 or 88/379/EEC of 7 June 1988, of the UN number and of the ADR code
4. the water content capacity of the containers
5. the composition of any establishment's own fire service.

Any other equivalent manner of providing information is allowed, providing the consent of the supervisory official and of the authorised fire brigade has been given.

Art. 5.17.3.16

§ 1. At least every 3 years, without the period between two consecutive examinations being able to exceed 40 months, the installations must be subjected to a limited inspection.
This inspection comprises, if relevant:

1. perusal of the previous report or certificate
2. the checking of the good state of the overfilling protection
3. an inspection for visible or organoleptically observable pollution of the surface outside the container according to the provisions of appendix 5.17.4
4. the inspection of the general state of the installation, comprising:

a) the tracing of leaks and indications of leaks
b) the inspection of the state of the plating, the connections and the butts of the container
c) the inspection of the state of accessories such as: valves, temperature, pressure and level measurement devices and earthing
d) the inspection of the pressure safety and alarm appliances
e) the inspection of the state of the outer cladding, the paintwork and/or the insulation
f) the inspection of the foundations and/or supporting blocks regarding stability and drainage
g) the inspection of the bund for content, sealing, pollution, measuring wells
h) the inspection of the state of the ducts and the accessories inside the bund.

also for vertical containers:

a) where appropriate, a non-destructive inspection must be conducted on the cladding and the roof plating of the containers to determine the plate thickness and any corrosion, both internal and external
b) at the request of the environmental expert or the authorised expert, any settling will be determined by measuring the height at a number of points spread evenly over the periphery of the bottom edge.

§ 2. At least every 20 years the installations must be subjected to a general inspection. Prior to this inspection the container must be internally cleaned.
This inspection comprises:

1. the limited inspection, as referred to in § 1
2. the inspection of the state of the inner wall
3. for vertical containers the inspection also includes:
   a) the inspection of the state of the framework and the internal accessories such as valves, heating coils, roof and groundwater drains and seals in the floating roofs
   b) the inspection of the bottom plates for the tracing of internal and external corrosion
   c) the inspection of bottom deformation and the possible measuring of the profile

4. a pressure test on any heating pipes.
For category 3 storage of P3 and/or P4 products, only the limited inspection mentioned in § 1 has to take place.

§ 3. The periodic investigations must be carried out by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or by an authorised expert, or for storage places for P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings by an accredited technician.

Art. 5.17.3.17

Following the inspections described in article 5.17.3.4 with installation and/or the periodic investigations referred to in article 5.17.3.16, the experts or the accredited technician draw up a certificate from which it unambiguously appears whether or not the installation complies with the conditions of these regulations. The aforementioned certificate also mentions the name and the accreditation number of the expert or accredited technician who has conducted the inspection.
Except in the case of a tank farm, a clearly visible sticker or plate is to be applied to or near the filler pipe on which the accreditation number, the year and the month of the control with installation and the last inspection are mentioned.
The sticker or plate has the following colour:

1. green, when the container and the installation comply with the provisions of these regulations
2. orange, when the container and the installation do not comply with the provisions of these regulations, but the faults established cannot cause pollution outside the container
3. red, when the container and the installation do not comply with the provisions of these regulations and the faults observed can lead or have led to pollution outside the container.

Art. 5.17.3.18

Only containers of which the filler pipe is provided with a green sticker or plate, as referred to in article 5.17.3.17, third subsection, 1., may be filled, replenished and operated.
Containers of which the filler pipe is provided with an orange sticker or plate, as referred to in article 5.17.3.17, third paragraph, 2., may still be filled or replenished for a transitional period of a maximum of six months. This period starts on the first day of the month following the month mentioned on the relative orange sticker or plate. In this case a new control must take place before the expiry of aforementioned term.
Containers of which the filler pipe is provided with a red sticker or plate, as referred to in article 5.17.3.17, third subsection, 3., may in no event be filled or replenished.

Art. 5.17.3.19

§ 1. The following are considered as existing containers for the storage of P1, P2, P3 or P4 products:

1. containers of which operation was licensed on 1 January 1993 or for which the application for the renewal of the environmental licence was being processed on the aforementioned date by the competent authority
2. containers which on 1 September 1991 were already in use, and without the application of title I of the General Regulations for Labour Safety were not classified as hazardous, unhealthy or nuisance-producing establishments
3. containers for which before 1 July 1993 notification was provided in accordance with the provisions of Title I of VLAREM.

These containers continue to be existing containers, also with the renewal of the environmental licence.

§ 2. Considered as existing containers for the storage of other than P1, P2, P3 or P4 products are containers of which the operation is licensed on the date of the enforcement of this order, or for which the application for the renewal of the environmental licence was being processed on the aforementioned date by the competent authority. These containers continue to be existing containers, also with the renewal of the environmental licence.

§ 3. The distance and prohibitory rules as well as the provisions of this section concerning the method of construction and installation of the containers, the associated ducts and the filling point are not applicable to existing containers.

§ 4. The general inspection as referred to in article 5.17.3.16 must take place a first time no later than on the dates mentioned in the table below, depending on the location, the nature, the stored liquid and the category.

		Location with respect to water abstraction areas or protected zones	
Product	**Category**	**Inside**	**Outside**
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 August 1998	1 August 2000
other	1, 2, 3	1 January 2003	1 January 2005

In anticipation of this general inspection the containers may continue to be used.
From the date of the first general inspection the periodic examinations must be conducted according to the provisions of article 5.17.3.16 and 5.17.3.17.

§ 5. Without prejudice to the particular conditions imposed in the environmental licence, the containers must comply with the provisions of this chapter no later than the dates mentioned in the table below, with the exception of the regulations related to:

1. the construction and the installation of the containers and the ducts providing that these comply with the provisions of § 4
2. the construction and the liquid sealing of the bund of tank farms.

		Location with respect to water abstraction areas or protected zones	
Product	**Category**	**Inside**	**Outside**
P1, P2, P3, P4	1, 2, 3	1 August 1999	1 August 2001
other	1, 2, 3	1 January 2004	1 January 2006

§ 6. With the replacement of the containers, as referred to in § 1 and § 2, the new container must comply with all the regulations of this chapter, except for that regarding the stipulations of distances to be observed.

§ 7. As a derogation from the provisions of § 5, existing containers which do not form part of a tank farm must no later than 1 January 2003 comply with the provisions of article 5.17.3.6, 5.17.3.7 and 5.17.3.8.

§ 8. In existing tank farms for the storage of P1, P2, P3 or P4 products located inside a water abstraction area or a protected zone, no later than 1 August 1997 observation pipes must be installed in accordance with the provisions of article 5.17.3.12.
In existing tank farms for the storage of other than P1, P2, P3 or P4 products located inside a water abstraction area or a protected zone, no later than within a period of 24 months after the date of the coming into force of this order observation pipes must be installed in accordance with the provisions of article 5.17.3.12.
These obligations also apply within a period of 24 months after the date of the coming into force of a decision for the assignment of a water abstraction area and/or a protected zone.

§ 9. In existing tank farms which do not dispose of an impervious bund and which are located outside a water abstraction area or a protected zone, within a period of 24 months after the date of the coming into force of this order observation pipes must be installed in accordance with the provisions of article 5.17.3.12.

Art. 5.17.3.20

§ 1. If leaks are observed the operator will take all the measures required to avoid the danger of explosion and restrict further soil and groundwater pollution to the extent possible.

§ 2. After professional repairs the container may only be brought back into use if a certificate has been issued by an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or by an authorised expert or by a technician accredited for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings. From this certificate it must clearly appear that the container and the installation comply with the requirements referred to in this order.

§ 3. With the final putting out of use of containers, whether or not due to leaks, the container must be emptied, cleaned and removed within a period of 36 months without prejudice to the provisions of the decree of 2 July 1981 concerning the prevention of waste and waste materials management and its implementing decisions.
If it is impossible to remove the container within this period, after consultation with an environmental expert accredited in the discipline containers for gases or hazardous substances or with an authorised expert or with a technician accredited for the storage of P3 and/or P4 products intended for the heating of buildings, the container must be emptied, cleaned and filled with sand, foam or an equivalent inert material. Here the necessary measures must be taken for explosion protection and to prevent soil and groundwater pollution.

§ 4. Liquid leaks which have caused ground pollution or spillage into the sewer system, the surface waters, the groundwater layers or onto adjacent properties must be immediately reported by the operator to the Environmental Inspection Department, to the Governor of the Province and to the Burgomaster.

Section 5.17.4 Control of the emission of volatile organic compounds (VOC) with the storage and transferring of petrol

Art. 5.17.4.1

The provisions of this section are applicable to the establishments as referred to in the subsection 17.3.4 and the establishments as referred to in subsection 17.3.9 of the classification list, to the extent these establishments concern the collection, storage and transferring of petrol.

Art. 5.17.4.2

§ 1. Without prejudice to the other conditions in these regulations, the storage installations must comply with the technical regulations of appendix 5.17.9, § 2.

§ 2. As a derogation from § 1, existing storage installations must comply with the provisions of § 1:

1. from 1 January 1999 for storage installations with a turnover greater than 50000 tonnes per year, measured during the years 1996 and 1997

2. from 1 January 2002 for storage installations with a turnover greater than 25000 tonnes per year, measured during the years 1996 up to and including 2000; if, however, the turnover measured during the years 1998 up to and including 2000 exceeds the limit of 50000 tonnes per year, the provisions of §1 of this article are applicable from 1 January of the second year after the year for which the limit value was exceeded
3. from 1 January 2005 for other storage installations.

Art. 5.17.4.3

§ 1. Without prejudice to the other conditions in these regulations, transfer installations of mobile tanks at terminals must comply with the technical regulations of appendix 5.17.9, § 3.

§ 2. All terminals with transfer installations for the loading of tankers must be equipped with at least one loading gantry that meets the specifications for installations for filling on the bottom side in appendix 5.17.9, § 5.

§ 3. As a derogation from § 1 of this article, existing transfer installations for the loading of tankers, rail tankers and/or ships must comply with the provisions of § 1 and § 2:

1. from 1 January 1999 for transfer installations with a turnover greater than 150000 tonnes per year, measured during the years 1996 and 1997
2. from 1 January 2002 for transfer installations with a turnover greater than 25000 tonnes per year, measured during the years 1996 up to and including 2000; if, however, the turnover measured during the years 1998 up to and including 2000 exceeds the limit of 150000 tonnes per year, the provisions of §1 of this article are applicable from 1 January of the second year after the year for which the limit value was exceeded
3. from 1 January 2005 for other transfer installations of terminals.

§ 4. Not later than three months after the date of bringing into use, and then at least once a year, an environmental expert accredited in the discipline air must draw up a report. In this report the results of the measurements conducted to determine the average concentration of vapours in the vapour recovery unit outlet are shown, discussed and compared to the emission condition mentioned in appendix 5.17.9, § 3. The term between two control measurements may in no event exceed 15 months. This report must be sent to the Environmental Licence Department, the Environmental Inspection Department and the Flemish Environmental Agency.

Art. 5.17.4.4

§ 1. Without prejudice to the other conditions in these regulations, distribution installations for petrol must meet the technical regulations of appendix 5.17.9, § 4.

§ 2. As a derogation from § 1 of this article, existing distribution installations must comply with the provisions of § 1:

1. from 1 January 1999 for distribution installations with a turnover greater than 1000 m^3 per year, measured during the years 1996 and 1997, as well as for installations, irrespective of their turnover, which are located under permanent living spaces or working spaces
2. from 1 January 2002 for distribution installations with a turnover greater than 500 m^3 per year, measured during the years 1996 up to and including 2000; if, however, the turnover measured during the years 1998 up to and including 2000 exceeds the limit of 1000 m^3 per year, the provisions of § 1 of this article are applicable from 1 January of the second year after the year for which the limit value was exceeded
3. from 1 January 2005 for other distribution installations.

§ 3. The provisions of this article are not applicable to distribution installations with a turnover of less than 100 m^3 per year.

§ 4. Storage installations, which form part distribution installations for petrol which according to the provisions of this article must comply with the technical regulations of appendix 5.17.9, § 4, may only be filled by mobile tanks which meet the federal regulations for the execution of EC directive 94/63/EC of 20 December 1994 concerning the control of the emission of volatile organic substances (VOS) as a result of the storage of petrol and the distribution of petrol from terminals to distribution installations.

Art. 5.17.4.5

The operator must keep a register in which the turnover information is mentioned. This register is to be kept at the disposal of the supervisory officials.

Art. 5.17.4.6

The operator of a vapour recovery installation must keep a register in which each period of putting out of use of this installation is accurately recorded, as well as the reason for this and the measures taken. This register is to be available for perusal at the place of operation. § 3.

Section 5.17.5 Fuel distribution installations for motor vehicles

Art. 5.17.5.1

The provisions of this section are applicable to the establishments as referred to in subsection 17.3.9 of the classification list.

Art. 5.17.5.2

Without prejudice to the conditions in these regulations, the necessary measures must be taken to prevent the spillage of liquid fuels, the pollution of the soil and the groundwater and surface water.
In the case of an incident, effective measures must immediately be taken to prevent the spreading of liquid fuels.

Art. 5.17.5.3

Electrical installations must meet the requirements referred to in the General Regulations for electrical installations, in particular the articles dealing with spaces in which an explosive atmosphere can originate. These installations must be able to be manually stopped from a safe and always easily accessible place.

Art. 5.17.5.4

The filling of any vehicle whatsoever may only take place after the engines of this vehicle have been switched off.

Art. 5.17.5.5

Fuelling places for motor vehicles for P1 and/or P2 products are always in the open air and on the premises of the establishment. The floor of the aforementioned parking place is impervious and sufficiently supporting. The ground is to be provided with the necessary gradients and possible raised edges to ensure that any spilled flammable fuels run off to a collector and are removed in accordance with regulatory provisions.
No trenches, crawl spaces or rooms may be present under the aforementioned filling position.

Art. 5.17.5.6

Each fixed container which forms part of a distribution installation for the filling of motor vehicles must be equipped with its own filler pipe.
The filling point for P1 and/or P2 products :

1. is at a horizontal projection at least 2 m distance from the edge of the container
2. may not be in a closed or open building
3. must be located at least 3 m from any basement space and from the boundaries of the parcels of third parties.

Art. 5.17.5.7

§ 1. As regards existing fuel distribution installations for motor vehicles, the specific transitional period in article 3.2.1.2, § 3, b) for the specified construction requirements in article 5.17.5.5 and 5.17.1.17, 6. may be brought to:

1. 1 January 1999 for all distribution installations fitted with directly buried in the ground single-walled metal containers located inside water abstraction areas and protected zones
2. 1 January 2002 for all distribution installations, other than those mentioned sub 1., fitted with directly buried in the ground single-walled metal containers which were built before 1975, whereby it is assumed that the containers were built before 1975 if the age cannot be demonstrated
3. 1 January 2005 for all other distribution installations.

For existing containers or existing discharges of industrial sewage, the same derogation can apply as in article 5.17.1.4, § 2, article 5.17.2.11, § 5 and article 3.2.1.2, § 3, b, as regards the realisation of the requirements made in appendix 5.3.2, 52°, c).

§ 2. The operator can only be granted the exception as referred to in § 1 under the explicit condition that he, no later than on 1 January 1998, has bound himself to the following by registered mail to the Environmental Licence Department and the Environmental Inspection Department:

1. to ensure that the containers will meet the conditions of these regulations for new containers before the date set in § 1, except for that regarding the location regulations (in particular the prohibitory rules and stipulations of distances to be observed)
2. the further operation of the fuel distribution installation will be definitively stopped from the date in § 1 in the event of the undertaking in sub 1. not being achieved.

Annex 6

CHAPTER 5.20: INDUSTRIAL ESTABLISHMENTS WHICH CAN CAUSE AIR POLLUTION

Section 5.20.1 General provisions

Art. 5.20.1.1

§ 1. The provisions of this chapter are applicable to the establishments specified in section 20 of the classification list.

§ 2. As a derogation from the general emission limit values mentioned in chapter 4.4. the emission limit values specified in other chapters of this order for specific categories of establishments also apply for the categories of establishments covered by the specified sections in § 1 with the same industrial activity. This particularly concerns the emission limit values mentioned in chapters 5.7. "Chemicals" and 5.29. "Metal" which respectively apply for the establishments as referred to in subsections 20.4 and 20.2.

Section 5.20.2 Oil refineries.

Art. 5.20.2.1 Scope

The provisions of this section are applicable to the establishments as referred to in subsections 1.1 and 20.1.2. of the classification list.

Art. 5.20.2.2

§ 1. As a derogation from the provisions of the articles 5.7.6.1, chapters 5.31 and 5.43 and the general emission limit values specified in chapter 4.4., for oil refinery installations [¼] the following emission limit values apply concerning the sum of the emissions originating from heating installations, including STEG installations and processing installations:

1. from 1 January 1994:	
a) for sulphur dioxide:	
- until 31 December 1997:	2000 mg/Nm^3
- from 1 January 1998:	1300 mg/Nm^3
b) for nitrogen oxides:	
- until 31 December 1997:	900 mg/Nm^3
- from 1 January 1998:	450 mg/Nm^3
c) for suspended particulates:	
- until 31 December 1997:	300 mg/Nm^3
- from 1 January 1998:	150 mg/Nm^3
2. from 1 January 1997:	
for CO:	
- until 31 December 1997:	250 mg/Nm^3
- from 1 January 1998:	150 mg/Nm^3
3. from 1 January 1999:	
- for Ni and its compounds:	2 mg/Nm³ expressed in Ni
- for V and its compounds:	7 mg/Nm³ expressed in V.

At processing installations referred to in the first subsection include, among others:
- sulphur recovery units
- catalytic cracking and converting installations
- incinerators
- torches as well as asphalt oxidisers and all other processing units with SO_2-, NO_x, CO and dust emissions.

For new, large heating installations the provisions of section 5.43.2 apply, except for the emission limit values included in the section. These are replaced by the emission limit values included in appendix 5.20.2.
As a derogation from article 3.2.1.2, § 3, a), for existing establishments the more stringent emission limit values apply as referred to in the third subsection, as of 1 January 2005.

§ 2. From 1 January 1994 the operating conditions in the operating licences for oil refineries with respect to SO_2-, NO_x-, CO and dust are replaced by the provisions of § 1.

§ 3. For the application of the provisions of § 1 of this article, the following specifications must be respected:

1. for the definitions of flue gases and emission limit values, for new and existing heating installations and for steam and gas turbine installations (STEG) the definitions of article 1.1.2 apply, in particular concerning industrial establishments which can cause air pollution.
   For processing installations the actual flow rates in m^3/hour must be converted at the normal temperature (273 °K) and pressure (101.3 kPa), but on a dry basis as specified in article 4.4.3.1. with the actual quantity of excess oxygen
2. measuring strategy for suspended particulates, SO_2 , NO_x , CO, Ni and V:
   - for heating installations, including machines with internal incineration the provisions of article 5.43.2.3. apply, §§ 1 and 2
   - for processing installations, residual gas measurements are constantly conducted or the emissions are calculated on the basis of constant or periodically measured relevant parameters according to codes of good practice as in article 5.43.2.3., §§ 1 and 2
3. assessment of measuring results:
   for the assessment of the measuring results the following applies:
   - for SO_2: the provisions of article 5.43.2.4 with continuous measurement or article 4.4.4.5 with discontinuous measurement
   - for NO_x and CO: the provisions of article 5.43.5.1, § 4 with continuous measurement or article 4.4.4.5 with discontinuous measurement
   - for suspended particulates: the provisions in article 5.43.5.1, § 4 with continuous measurement or article 4.4.4.5 with discontinuous measurement
   - for Ni and V: the provisions as mentioned for NO_x, in article 5.43.5.1, § 4 with continuous measurement or article 4.4.4.5 with discontinuous measurement.

§ 4. Gaseous effluents discontinuously released by a processing such as gaseous effluents resulting from the regeneration of catalytic agents and with inspection and cleaning activities must be transported to a combustion facility or a torch, or equivalent measures must be taken to ensure emission reduction.
Gaseous effluents released with the starting up or stoppage of an installation must, to the extent possible, be transported to a collection system for gaseous effluent or incinerated in process heating installations. When this not possible, the gases must be led to a torch, in which for organic substances an emission level of 1 % with respect to the total carbon content may not be exceeded.
Gaseous effluents from desulphurisation installations or other sources with a volume level of hydrogen sulphide of over 0.4 % and a mass flow of hydrogen sulphide of over 2 tonnes/day must be further processed.
Gaseous effluents which are not further processed must be transported to an incinerator.
As a derogation from the provisions of chapter 4.4, the emissions of hydrogen sulphide in the discharged gaseous effluent may not exceed 10 mg/Nm^3.
Hydrogen sulphide-containing water may only be processed in such a way that the release of gaseous effluent into the atmosphere is avoided.
With the transfer of base, intermediary and finished products the emissions of organic substances with a vapour pressure of over 13.3 kPa at a temperature of 35 °C must be reduced by means of appropriate measures, such as by gas pendulum, extraction and transfer to an effluent gas purification installation.

Process water may only be discharged into an open system after degassing. The gaseous effluents collected here must be cleaned by washing or incineration.

§ 5. As a derogation from § 1, the emission in the gaseous effluent of installations for the catalytic cracking according to the 'fluid bed' procedure with the regeneration of the catalyst may not exceed the following emission limit value for suspended particulates:

1. until 1 January 2005:	300 mg/Nm^3 as monthly average
2. from 1 January 2005:	50 mg/Nm^3 as monthly average.

§ 6. The concentration of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD's) and polychlorinated dibenzo-p-furans (PCDF's), calculated according to article 5.2.3.1.5, § 6, expressed as nanograms dioxin toxic equivalent per Nm^3 (ng TEQ/Nm^3), may not exceed a limit value of 0.5 ng TEQ/Nm^3 for all average values over a sampling period of at least 6 hours and a maximum of 8 hours. The emission guide value is 0.1 ng TEQ/Nm^3.
As a derogation from the provisions of the first subsection, the following applies for existing establishments:
- an emission guide value of 0.4 ng TEQ/Nm^3;
- an emission limit value of 2.5 ng TEQ/Nm^3 as of 1 January 2002.

The aforementioned guide values must be striven for by the application of the best available techniques.
The mass concentration of PCDD's and PCDF's is to be measured according to the requirements referred to in the Belgian standard T95-R-NBN EN 1948-1, 2 or 3. This concentration is to be measured at least once a year by an environmental expert accredited for these measurements. This measurement is not compulsory for constituent flows which do not or do not significantly contribute to the emissions. Unless specified otherwise in the environmental licence, the omission of the measurements of specific constituent flows is only accepted providing that this has been approved of in advance by the supervisory authority.
Each measurement performed according to the above-mentioned method must, after the calculation of the accuracy as referred to in article 4.4.4.2, § 5, comply with the prescribed emission limit value. If the measured concentration, after the calculation of the aforementioned accuracy, exceeds the emission limit value, within three months new sampling and analysis will take place.

Art. 5.20.2.3 Immission control procedures

§ 1. Without prejudice to the provisions of chapter 4.4, each time the weather conditions appear unfavourable for the good dispersion of the combustion gases, in particular at the establishment, the operator will take all necessary steps to maximally restrict the emissions of SO_2 as well as of NO_x from this installation.

§ 2. Each change of fuel, sulphur content of the liquid fuel, as well as the times of putting out of use are recorded in a register that the operator keeps available to the official charged with supervision.

§ 3. When the total installed nominal thermal capacity at one establishment amounts to more than 300 MW, in the surrounding area of the installations appliances for the measuring of the immissions of SO_2 and NO_2 in the air at the ground will be installed and maintained at the operator's expense. The type, the place of measurement, the method of control and the other conditions for use for the appliances are determined in the environmental licence.

§ 4. Without prejudice to the provisions of § 1, each time the average immission value over 24 hours measured with the equipment specified in § 3, amounts to more than 300 mg/m^3 for SO_2 and/or 150 mg/m^3 for NO_2, the operator will take the steps prescribed in § 1, and maintain these measures for as long as the measured average immission values over 24 hours of SO_2 and of NO_2 amount to more than 300 mg/m^3 for SO_2 and/or 150 mg/m^3 for NO_2.

§ 5. To guarantee compliance with the emission limit values for nitrogen oxides of art. 5.20.2.2, more appropriate technical construction conditions can be imposed in the environmental licences.
If from control measurements it appears that the emission limit value is not being complied with due to unforeseen circumstances, the operator must take all suitable primary measures to ensure compliance with the emission limit values as soon as possible. The operator must report this to the Environmental Inspection Department together with the mentioning of measures taken for improvement. The European Commission is to be immediately informed through the usual channels of such events, as well as of the work carried out for improvement.

Section 5.20.3 Installations for the dry distillation of coal (coke ovens)

Art. 5.20.3.1 Underfiring, coke oven gas and heating installations

§ 1. Reference value
The emission values for waste gases from heating concern a volume level of oxygen in the spent gas of 5 %.

§ 2. Coke oven gas and fuel
As a derogation from the general emission limit value for SO_2 as specified in article 4.4.3.1, the weighed average of the mass concentration of sulphur compounds in the gas from the underfiring, as well as in the gases originating from the coke ovens used as fuel, may over a calendar year not exceed 0.80 g/m^3 expressed in sulphur.

§ 3. Nitrogen oxides
With the first time of measuring, the emissions of nitrogen monoxide and nitrogen dioxide in the gaseous effluent from the underfiring may not exceed 0.50 g/m^3 expressed in nitrogen dioxide. The best available techniques to reduce the increase of emissions due to ageing must be applied.
The measurements to be conducted for the first time after foundation or significant modification must be carried out after the installation has reached uninterrupted operation, but at the earliest after three months in operation and at the latest twelve months after being in operation.

Art. 5.20.3.2 Filling the coke ovens

With the unloading of the coal from the coal bunker in the larry car, dust emissions must be avoided.
The filling gases must be collected.
When dumping, the filling gases must be transferred to the raw gas or an oven close by to the extent possible, with the further processability of the raw coal tar in mind.
With stamping, the filling gases must be transferred in the raw gas to the extent possible.
Filling gases which cannot be transferred must be taken to an incineration facility. Dust-containing emissions in the gaseous effluent of the incineration may not exceed 25 mg/m^3.
With the levelling activities with the dumping of coal, the emissions of filling gases must be reduced by the sealing of the levelling opening.

Art. 5.20.3.3 Filling opening covers

Emissions with filling opening covers must be avoided to the extent possible, for example by using filling opening covers with large sealing surfaces, coating the filling opening covers will loam each time after filling the ovens and the regular cleaning of the filling opening frames and filling opening covers before the filling openings are closed. Coal remains must be regularly removed from the oven roof.

Art. 5.20.3.4 Riser pipe covers

For the avoidance of gas and coal tar emissions, riser pipe covers must be fitted with devices for keeping wet with water or equivalent devices.

Art. 5.20.3.5 Coke oven operating machines

Coke oven operating machines must be fitted with devices for the cleaning of the sealing surfaces at the oven door frames.

Art. 5.20.3.6 Coke oven doors

Coke oven doors with a large sealing effect must be used, for example diaphragm doors or doors with an equivalent sealing effect. The sealing surfaces of the oven doors must be regularly cleaned.
Unless specified otherwise in the environmental licence, the coke oven batteries are to be arranged in such a way that on the machine side and on the coke side door extraction units with dedusting devices can be installed.

Art. 5.20.3.7 Pushing out of coke

With the pushing out of coke the spent gases must be collected and led to a dedusting installation.
Unless specified otherwise in the environmental licence, the dust concentration in the emissions will not exceed the emission limit value of 50 mg/Nm^3, and the dust-containing emissions may not exceed 5 gram per tonne of produced coke.

Art. 5.20.3.8 Coke cooling

§ 1. If dry cooling is applied, unless specified otherwise in the environmental licence, the dust emissions in the gaseous effluent may not exceed 20 mg/m^3.

§ 2. If wet cooling is applied, the quenching tower used must be fitted with built-in dust extractors.
As a derogation from the general emission limit values laid down in article 4.4.3.1, the emission limit values are expressed in gram per tonne of coke. Unless specified otherwise in the environmental licence, an emission limit value of 60 gram suspended particulates per tonne coke, measured according to the VDI directive VDI 2303 or another equivalent measuring method approved by an environmental expert accredited in the discipline air, may not be exceeded.

Art. 5.20.3.9 Operating manual

An operating manual must contain measures for the reduction of emissions with the operation of the coke oven, in particular regarding:

1. the sealing of the openings
2. the guaranteeing that only fullycoked material will be pushed out
3. the avoidance of unburned gases escaping into the atmosphere.

Art. 5.20.3.10 Existing installations

For existing installations the provisions of this section apply as of 1 January 1998.

Section 5.20.4 The production of glass fibre or rock fibre and glass wool, the manufacture of glass (flat, concave and special glass) and the manufacture of crude ceramics

Subsection 5.20.4.1 The production of glass (flat, concave and special glass) and of glass fibre or rock fibre

Art. 5.20.4.1.1

§ 1. Reference value
The emission limit values for flame-heated glass melting furnaces concern a volume level of 8 %, and with flame-heated crucible kilns and open tiling a volume level of oxygen in the spent gas of 13 %.

§ 2. Nitrogen oxides
The emissions of nitrogen monoxide and nitrogen dioxide, expressed in nitrogen dioxide, in the gaseous effluent may not exceed the following values:

	oil fired [g/Nm^3]	gas fired [g/Nm^3]
crucible kilns	1.2	1.2
tiling with recuperative heat recovery	1.2	1.4
open tiling	1.6	1.6
U-fire tiling with regenerative heat recovery	1.8	2.2
crossfiring tiling with regenerative heat recovery	3.0	3.5

Insofar from production quality considerations purification with nitrate is necessary, the emissions may not exceed double the values specified in the previous subsection.
All possibilities for the reduction of emissions of nitrogen oxides by means technical heating measures and other available measures are to be applied.

§ 3. sulphur oxides.
The emissions of sulphur dioxide and sulphur trioxide in the spent gas, expressed in sulphur dioxide, may not exceed the following values at a mass flow of 10 kg/h or more with firing:

a) glass melting furnaces: 1.8 g/Nm^3
b) crucible kilns and open tiling: 1.1 g/Nm^3

Subsection 5.20.4.2 Production of crude ceramics

Art. 5.20.4.2.1

§ 1. Reference value
The emission limit values concern a volume level of oxygen in the gaseous effluent of 18 %.

§ 2. Sulphur oxides
With a sulphur content of the raw materials of less than 0.12 %, the emissions of sulphur dioxide and sulphur trioxide, expressed in sulphur dioxide in the gaseous effluent at a mass flow of 10 kg/h or more, may not exceed 0.5 g/Nm^3.

With a sulphur content of the raw materials of 0.12 % or more, the emissions of sulphur dioxide and sulphur trioxide, expressed in sulphur dioxide in the gaseous effluent at a mass flow of 10 kg/1 hour2 or more, may not exceed 1.5 g/Nm^3.
All possibilities for the reduction of emissions by cleaning installations for gaseous effluent must be applied.

§ 3. For existing establishments, as referred to in section 30.9 of the classification list, the provisions of chapter 5.30 also apply.

Section 5.20.5 Installations for the production of hydroelectric energy as well as installations for the abstraction of wind power for energy production

Art. 5.20.5.1

§ 1. The provisions of this section are applicable to subsections 20.1.5 and 20.1.6 of the classification list.

§ 2. As a derogation from the provisions of chapter 4.5, in this case no noise standards are applicable. In the environmental licence noise emission limits can be imposed depending on local conditions.

3. DENMARK

No information supplied

4. FINLAND

The Finnish environmental protection legislation has been revised recently and a new Environmental Protection Act came into force on the 1st of March, 2000. The new act totally implements the EU Directive on Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) and has an integrated approach to control emissions caused by the industry. According to the Environmental Protection Act an environmental permit is required for installations of the chemical industry.

In the permitting procedure the environment is considered as a whole and all the environmental effects of the activity are estimated at the same time. All necessary permit conditions are set in a single permit. The application for a permit is dealt with by one competent authority.

In Finland permit conditions are set mainly based on case-by-case consideration. At the moment there are no special regulations concerning the emissions to air or waste water from the chemical industry. Instead there are some general Council of State Decisions on discharging certain compounds into public sewer systems or into water bodies. In addition to that there are regulations banning or restricting the use of certain hazardous chemicals. All of them are valid in the chemical industry as well as in all other branches of industry.

International recommendations, e.g. HELCOM-recommendations (HELSINKI COMMISSION, Baltic Marine Environment Protection Commission), are also taken into consideration in setting the permit conditions.

5. FRANCE

The legislation for the chemical sector is composed of:

- the general framework for the control of industrial pollution and risk prevention, as provided by the "classified installations law" of the 19th July 1976, and the Order of the 2nd February 1998. This Order specifies that emission limit values should be based on BAT and local conditions of the environment. The Order gives general emission limit values for air and water, for all classified installations, and also specific limit values for many industrial activities, many of which included in the chemical sector.

- special legislation, each targeting a particular sector of the chemical industry, and detailing the general provisions of the general framework for that particular sector. The main sectors covered by such special legislation are:

  production of superphosphates
  production of organic sulphuric compounds
  production of detergent and of soap
  steam extraction of perfumes, essential oils
  production of dyes
  production of pharmaceuticals
  production of plastics, rubber
  use or re-use of plastics, rubber
  storage of plastics, rubber
  storage of tyres
  production of accumulators.

6. GERMANY

Important regulations relevant for industrial installations in Germany are laid down in the Federal Immission Control Act [Bundesimmissionsschutzgesetz - BImSchG], the Federal Water Act [Wasserhaushaltsgesetz - WHG] and the Federal Recycling and Waste Management Act [Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz - KrW-/AbfG]. Germany uses a media segregated permit system for the different environmental media, but the final decision on an application is made by the assessment of environmental impacts over all media by the competent authorities. Also noise requirements are considered in the licensing procedure. The "precautionary principle" has a legal status which permits the setting of standards. Legal standards are not subject to any negotiation in the licensing process in Germany.

In compliance with the federal structure of Germany, the implementation of environmental laws and decrees is under the responsibility of the federal states (Bundesländer), which may implement the administrative procedure differently. For new plants, that are regarded as relevant with respect to emissions and releases into the environment, also an environmental impact assessment is required during the licensing procedure ['Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung [UVPG]', (Environmental Impact Assessment Act)].

Regulations on Air Quality
The basic law for air pollution control is the Federal Immission Control Act [Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG]. It is specified by 21 ordinances and the Technical Instructions on Air Quality [TA Luft].

The Technical Instructions on Air Quality (TA Luft) have been set up as general administrative regulations in connection with §48 BImSchG. The TA Luft further specifies the requirements to be met by installations subject to licensing. Therefore, it prescribes emission limit values for virtually all air pollutants as well as structural and operational requirements designed to limit diffuse emissions.

The emission limit values contained in the TA Luft represent state-of-art for technical measures for reducing emissions (dating from 1986). These values were developed referring to scientific findings and research, taking into account toxicological, bioaccumulative and epidemiological aspects.

Emission control requirements laid down in the TA Luft					
Emitted substance (TA Luft section)	**Class**	**Substances**		**Mass flow threshold [g/h]**	**Concen-tration limit [mg/m³]**
Total dust				=500 =500	150 50
Inorganic dust particles (3.1.4)	I	(Hg, Cd, Tl)	Sum of substances	=1	0.2
	II	(As, Co, Ni, Te, Se)	Sum of substances	=5	1
	III	(e.g. Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rn, V, Sn, substances wich are strongly suspected to cause cancer)	Sum of substances	=25	5
	I+II		Sum of substances		1
	I+III, II+III		Sum of substances		5
Vaporous or gaseous inorganic substances (3.1.6)	I	(e.g. AsH_3)	Per substance	=10	1
	II	(e.g. HF, Cl_2, H_2S)	Per substance	=50	5
	III	(e.g. Cl-compounds as HCl)	Per substance	=300	30
	IV	(e.g. $SO_2 + SO_3$ as SO_2, $NO + NO_2$ as NO_2)	Per substance	=5000	500
Organic substances (3.1.7)	I	(e.g. Chlormethane)	Classification according to Annex E of TA Luft	=100	20
	II	(e.g. Chlorbenzene)		=2000	100
	III	(e.g. Alkylalcohols)		=3000	150
Vaporous or gaseous emissione during treatment and refilling of organic substances (3.1.8)	Requirements for the minimization of diffuse organic emyission by the installation of technical equipment, e.g. pumping units, compressors, flanged joints, stop valves and in sampling stations				
Carcinogens (2.3)	I	(e.g. Cd[1)], As[1)], asbestos, benzo(a)pyren)	Sum of substances	≥0.5	0.1
	II	(e.g. Ni, chromium VI)	Sum of substances	≥5	1
	III	(e.g. Acrylonitrite, benzene)	Sum of substances	≥25	5

[1)] Based on the decision adopted by the Conference of the Federal Government/Federal States Ministers for the Environment on 21/22. November 1991, an emission concentration value of 0.1 mg/m³ has been stipulated for Cd and its compounds, given as Cd, as well as for As and its compounds, given as As.

The required emission limits are given in mass of emitted substances related to the volume of emitted gas under standard conditions (0°C, 101.3 kPa) after subtraction of the water vapour content.

If organic substances in several classes are present, the mass concentration in the emitted gas should not exceed a total of 0.15 mg/Nm^3 with a total mass flow of 3 kg/h or more.

In the case of high emission mass flows, emissions have to be monitored continuously.

No daily mean value of the respective emitted substances should exceed the required emission limits, 97 % of all half-hourly means should not exceed six fifths of the required emission limits, and all half-hourly means should not exceed the required emission limits by more than twice.

Specific emission control requirements laid down in the TA Luft for organic chemical industry	
Sector	**Requirements**
Production of 1,2-dichloro-ethane (EDC) and vinyl-chloride (VC) (3.3.4.1.g.1)	Limit emission concentration: 5 mg/Nm^3 EDC or VC
Production of acrylnitrile (AN) (3.3.4.1.g.2)	Limit emission concentration: 0,2 mg/Nm^3 AN Waste gases from distillation or refilling have to be reduced
Production of pesticide agents (3.3.4.1.g.3)	Dust In the case of production of pesticides, which are pesistent or accumulating or restricted according to the directive on Bans on the Placing on the Market and the Use of Plant Protecting Agents Containing Particular Active Sub-stances limit emission concentration: 5 mg/Nm^3 (mass flow threshold: =25 g/h)
Plant for milling,mixing, refilling and packaging of pesticides (3.3.4.2.1)	Limit emission concentration: 5 mg/Nm^3 dust

Regulations on Water Quality

The legal framework for water management is the Federal Water Act [Wasserhaushaltsgesetz - WHG]. The WHG applies to waste water generated by various industrial processes. The usage of surface, coastal, and ground waters requires the approval of the competent authority. **Discharges into water** are regulated in the Waste Water Ordinance including its Annexes [Abwasserverordnung, AbwV]. It specifies the minimum requirements to be stipulated when granting a permit to discharge waste water from the source categories listed in the Appendices into receiving water.

Issued by the Federal Government in consent with the Federal States (Länder), these minimum requirements bind the authority competent for licensing and controlling the discharges. Depending on the local conditions, more stringent requirements can be established. The minimum requirements are based on the 'emission principle' and the precautionary principle. General requirements according to the Waste Water Ordinance are covered by the Article 3 listed below:

General requirements

i. unless otherwise stated in the Appendices, a permit to discharge waste water into water-bodies shall only be granted if the pollutant load at the site of occurrence, based on an examination of the conditions in each individual case, is kept as low as the use of water-saving procedures such as washing and cleaning operations, indirect cooling and the use of low-pollutant feedstocks and auxiliary materials permit
ii. the requirements of this Ordinance must not be met by means of procedures whereby environmental pollution is transferred to other environmental media such as air or soil, contrary to state-of-art
iii. requirements specified in the form of concentration levels must not be achieved via dilution, contrary to state-of-art
iv. if requirements prior to blending are specified, then blending shall be permissible for the purpose of joint treatment, provided at least the same overall reduction of contaminant load per parameter is achieved as would be the case via separate compliance with the relevant requirement
v. if requirements are specified for the site of occurrence of waste water, blending is only permissible provided these requirements are adhered to
vi. if waste water flows which are subject to differing requirements are discharged jointly, then the relevant decisive requirement for each parameter shall be determined by means of alligation

vii. if requirements governing the site of occurrence of the waste water or prior to blending are imposed in the applicable Appendices, then paragraphs iv and v shall remain unaffected.

The requirements refer to the point at which the waste water is discharged into the waterbody and, when specified in the appendices to this ordinance, also to the site of occurrence of the waste water or the site prior to blending thereof. The point of discharge is synonymous with the outlet from the waste water plant where the waste water was last treated. The site prior to blending is also the point of discharge into a public waste water plant.

If a level specified by this ordinance is not complied with based on the results of analysis within the context of government monitoring, it shall nevertheless be deemed to have been met, provided the results of this and the four preceding government analyses do not exceed the level in four cases and no result exceeds the level by more than 100 %. Analyses conducted more than three years ago shall be disregarded.

The productions of the specific sectors are covered by Annexesof this regulation. The relevant annexes for the chemical sector are:

- Annex 22 (Chemical industry)
- Annex 36 (Production of hydrocarbons)

Appendix 22 on Chemical industry

"A. Scope of application
(1) This Appendix shall apply to waste water originating primarily from the production of substances using chemical, biochemical or physical techniques, including the related pretreatment, intermediate treatment and after-treatment.
(2) This Appendix shall not apply to waste water discharges of less than 10 m^3 per day.
(3) For waste water derived from formulation (i.e. the manufacture of substances and preparations by blending, dissolving or bottling) which is discharged without being blended with other waste water falling under the scope of application of this Appendix, only part B of this Appendix shall apply.

B. General requirements
A permit for the discharge of waste water into waterbodies shall only be granted, subject to the requirement that the contaminant load at the site of occurrence of the waste water is kept as low as the following measures permit, after investigating the situation in each individual case:

- Use of water-saving techniques, such as countercurrent washing
- Multiple use and recirculation, e.g. with washing and purifying processes
- Indirect cooling, e.g. to cool vapour phases instead of using jet condensers or jet coolers
- The use of waste water-free techniques to generate vacuums and for waste air purification
- The retention or recovery of substances via the preparation of mother liquor and by means of optimised techniques
- The use of low-pollutant raw and auxiliary materials.

Proof of compliance with the general requirements shall be furnished in the form of a waste water register.

C. Requirements for waste water at the point of discharge
(1) The following requirements apply to the waste water at the point of discharge into the waterbody:

1. Chemical oxygen demand (COD)
   a) For waste water flows whose COD concentration at the site of occurrence of waste water is more than 50000 mg/l, a COD concentration of 2500 mg/l shall apply

b) more than 750 mg/l, a COD concentration equivalent to a 90% reduction in COD shall apply
c) 750 mg/l or less, a COD concentration of 75 mg/l shall apply
d) less than 75 mg/l, the actual COD concentration at the site of occurrence shall apply.

The requirements shall also be deemed to have been met provided a COD concentration of 75 mg/l in the qualified random sample or 2-hour composite sample is adhered to, with due regard for part B.

1. Total nitrogen as the sum of ammonia, nitrite and nitrate nitrogen (N_{tot}): 50 mg/l in the qualified random sample or 2-hour composite sample. A higher concentration of up to 75 mg/l may be specified in the water discharge licence, provided a 75 % reduction in the nitrogen load is adhered to. The set value shall also be deemed to have been met, provided the level defined as "total bounded nitrogen (TN_b)" is adhered to.
2. Total phosphorous: 2 mg/l in the qualified random sample or 2-hour composite sample. This requirement shall also be deemed to have been met provided the level defined as "phosphorous compounds as total phosphorous" is adhered to.
3. Toxicity

Fish toxicity	T_F	=	2
Daphnia toxicity	T_D	=	8
Algae toxicity	T_A	=	16
Luminescent bacteria test	T_L	=	32
Mutagenic potential (umu test)	T_M	=	1.5

The requirements refer to the qualified random sample or the 2-hour composite sample.

(2) If process-integrated measures are applied to reduce the COD load by arrangement with the water authority, then the decisive load prior to implementation of the measure shall be used as a basis.

(3) For chemical oxygen demand (COD), the total load in 0.5 or 2 hours shall be limited in the water discharge licence. The total load is the sum of the individual loads from the individual waste water flows. The total load which must not be exceeded refers to the concentration in the qualified random sample or 2-hour random sample and the volumetric flow of waste water in 0.5 or 2 hours corresponding to sampling.

D. Requirements on waste water prior to blending

(1) The following requirements apply to waste water prior to blending with other waste water:

Adsorbable organic halogens (AOX)	
a) Waste water from the manufacture of epichlorhydrin, propylene oxide and butylene oxide	3 mg/l
b) Waste water from the two-stage manufacture of acetaldehyde	80 g/t
c) Waste water from the single-stage manufacture of acetaldehyde	30 g/t
d) Waste water from the manufacture of AOX-relevant organic colorants and aromatic intermediate products, where these are predominantly used to manufacture organic colorants	8 mg/l
e) Waste water from the manufacture of AOX-relevant active pharmaceutical ingredients	8 mg/l
f) Waste water from the manufacture of C1 chlorinated hydrocarbons by means of methane chlorination and methanol esterification, and of carbon tetrachloride and perchloroethane by means of perchlorination	10 g/t
g) Waste water from the manufacture of 1,2 dichloroethane (EDC), including further processing to vinyl chloride (VC) The load level refers to the production capacity for purified EDC. The capacity should be specified with due regard for the EDC portion which is not cracked in the VC unit linked to the EDC production unit and which is returned to the production cycle in the EDC purification plant.	2 g/t
h) Waste water from the manufacture of polyvinyl chloride (PVC)	5 g/t
i) Waste water flows with an AOX concentration of more than 0.1 mg/l and less than 1 mg/l without targeted measures	0.3 mg/l
j) Waste water flows from the manufacturing, further processing and application	1 mg/l or

of substances which are not separately regulated elsewhere witha concentration of more than 1 mg/l is exceeded or less than 1 mg/l via targeted measures		20 g/t
The load level refers to the capacity of the organic target products. It does not apply to the application of substances.		
Other substances		
	Qualified random sample or 2-hour composite sample [mg/l]	
Mercury	0.05	0.001
Cadmium	0.2	0.005
Copper	0.5	0.1
Nickel	0.5	0.05
Lead	0.5	0.05
Total chromium	0.5	0.05
Zinc	2	0.2
Tin	2	0.2
The requirements in column I apply to waste water flows from the manufacturing, further processing or application of these substances. The requirements in column II refer to waste water flows not originating from the manufacturing, further processing or application of these substances but which are nevertheless contaminated with such substances below the concentration levels in column I.		

(2) Upon compliance with the AOX requirements and the general requirements pursuant to part B, the requirements of Appendix 48, part 10 shall also be deemed to have been met.
(3) The AOX requirements shall not apply to iodo-organic substances in waste water from the manufacturing and bottling of X-ray contrast media.
(4) For adsorbable organic halogens (AOX) and the substances limited in paragraph (1), number 2, the total load per parameter in 0.5 or 2 hours shall be limited in the water discharge licence. The respective total load is derived from the sum of the individual loads of the separate waste water flows. The total load which must not be exceeded refers to the concentration in the qualified random sample or 2-hour composite sample and the volumetric flow of waste water in 0.5 or 2 hours corresponding to sampling.
(5) A waste water flow may only be blended with other waste water, subject to the furnishing of proof that the load of total organically bonded carbon (TOC) in this waste water flow ascertained for the site of occurrence is reduced by 80 % overall. This requirement shall not apply where the residual TOC load discharged from the respective waste water flow into waterbodies does not exceed 20 kilograms per day or 300 kilograms per year or 1 kilogram per tonne of production capacity of the organic target product. When proving the reduction in load, in the case of physico-chemical waste water treatment plants, the TOC elimination level of such plants shall be used as a basis, whereas in the case of biological waste water treatment plants, the result of a study pertaining to number 407 of the Annex to Article 4 shall be used as a basis.

E. Requirements on the waste water at the site of occurrence

(1) For chromium VI, a concentration of 0.1 mg/l in the random sample shall be adhered to.
(2) For volatile organically bonded halogens, a concentration of 10 mg/l in the random sample shall be adhered to. This requirement shall be deemed to have been met, provided it is achieved prior to the inlet into a sewage system without prior risk of leakage losses and without the waste water having been diluted.

F. Requirements for existing discharges

(1) For existing discharges of waste water from installations which were lawfully in operation prior to 1 January 1999 or whose construction had lawfully commenced by this date, the provisions in parts A, B, C and D shall only apply insofar as no requirements to the contrary are specified in paragraphs (2) to (5).
(2) Notwithstanding part B, proof of compliance with the general requirements in a waste water register must only be provided for 90 % of the parameter-related total loads in each case. The use of waste water-free techniques to generate a vacuum and for waste air purification must only be tested for the parameters specified in parts D and E. Additional testing with respect to other parameters is unnecessary.
(3) The requirements of part C pertaining to COD shall not apply to waste water from the manufacture of polyacrylonitrile.

(4) Notwithstanding part D, the following AOX requirements shall apply to the following waste water flows prior to blending with other waste water:
   1. Waste water from the production of EDC, including further processing to VC: 5 g/t (production capacity of purified EDC)
   2. Waste water from the manufacture of PVC: 1 mg/l or 20 g/t

(5) The requirements concerning mutagenic potential (umu test) pursuant to part C, paragraph (1) and TOC pursuant to part D, paragraph (5) shall not apply."

Appendix 36 on Production of hydrocarbons

"A. Scope of application

(1) This Appendix shall apply to waste water whose contaminant load originates primarily from the following areas of hydrocarbon production:

- The production of certain hydrocarbons, primarily olefin hydrocarbons, with 2 to 4 carbon atoms, as well as benzene, toluene and xylene from mineral oil products by cracking with the aid of steam (steam cracking)
- The production of pure hydrocarbons or certain blends of hydrocarbons from mineral oil products using physical separation methods
- The conversion of hydrocarbons into other hydrocarbons using the chemical techniques of hydration, dehydration, alkylation, dealkylation, hydrodealkylation, isomerisation or disproportionation.

This shall also include any precipitation water coming into contact with hydrocarbons in the process area of the production plant.

(2) This Appendix shall not apply to waste water from the production of pure paraffins from slack wax, from petroleum refining, from indirect cooling systems or from process water treatment facilities.

B. General requirements

No requirements above and beyond Article 3 are imposed.

C. Requirements for waste water at the point of discharge

(1) The following requirements apply to the waste water at the point of discharge into the waterbody:

	Qualified random sample or 2-hour composite sample [mg/l]
Chemical oxygen demand (COD)	120
5-day biochemical oxygen demand (BOD_5)	25
Total nitrogen as the sum of ammonia, nitrite and nitrate nitrogen (N_{tot})	25
Total phosphorous	1.5
Total hydrocarbons	2

(2) For COD, a concentration of up to 190 mg/l in the qualified random sample or 2-hour composite sample may be conceded, provided the COD load is reduced by at least 80 % in a central waste water treatment plant. The reduction in COD load refers to the ratio between the COD load in the effluent of the gravity-type oil-water separator and that of the effluent from the biological waste water treatment plant over a representative period of time not exceeding 24 hours.

(3) For total nitrogen, a higher concentration is permissible, provided the nitrogen load is reduced by at least 75% in a central waste water treatment plant. The reduction in the nitrogen load refers to the ratio between the nitrogen load of the effluent from the gravity-type oil-water separator and that of the effluent from the biological waste water treatment plant over a representative period of time which should not exceed 24 hours. Total bonded nitrogen (TN_b) should be used as a basis when calculating the loads.

D. Requirements on waste water prior to blending

The following requirements shall apply to the waste water prior to blending with other waste water:

	Qualified random sample or 2-hour composite sample [mg/l]	Random sample [mg/l]
Adsorbable organic halogens (AOX)	-	0.1
Phenol index after distillation and dye extraction	0.15	-
Benzene and derivatives	0.05	-
Sulphide sulphur and mercaptan sulphur	0.6	-

If hydrocarbon production also includes the manufacture of ethylbenzene and cumene, an AOX level of 0.15 mg/l shall apply.

E. Requirements on waste water for the site of occurrence

Waste water from the production of ethylbenzene and cumene must not exceed a level of 1 mg/l for adsorbable organic halogens (AOX) in the random sample."

7. GREECE

No information supplied.

8. IRELAND

Releases to air:

The reference conditions for concentrations of substances in emissions to air from contained sources are:

For non-combustion gases: Temperature: 273 K
Pressure: 101.3 kPa
no correction for water vapour

For combustion gases: Temperature: 273 K
Pressure: 101.3 kPa
dry gas
Oxygen content: 3 % (dry) for liquid and gaseous fuel
6 % (dry) for solid fuel

Achievement of emission limit value (ELV) concentrations by the introduction of dilution air is not permitted.

For continuously monitored emissions, the following will be required for compliance with measurements based on 30 minute mean values (unless otherwise stated):

i. 97 % of all 30 minute mean measurements shall be below 1.2 times the emission limit
ii. no 30 minute measurement shall exceed 2.0 times the emission limit
iii. all daily mean values shall be less than the emission limit.

Where periodic monitoring is used to check compliance, all samples should meet the consent conditions.

Emission Limit Values for Fertiliser Production		
Process	**Source**	**ELV (mg/Nm^3)**
Ammonium nitrate production	Prill towers - particulate - ammonia	 15 10
Ammonium nitrate production	Neutralisers/reactors/coolers/driers - particulate - ammonia	 30 50
Ammonium nitrate procuction	Evaporators - particulate -ammonia	 15 50
Ammonium phosphate production	- particulate - ammonia	15 10
Other fertiliser production	- particulate - sulphur oxides (as SO_2) - nitrogen oxides (as NO_2) - ammonia - fluorides (as HF)	50 200 200 50 10

Emission Limit Values for Sulphuric Acid Production	
Process	**Minimum conversion rate (SO_2 to SO_3)**
New process	Steady state: 99.7 % Start up: 98 % (hourly average for first 5 hours)

Emission Limit Values for Ammonia Production		
Source	**Emission**	**ELV (mg/Nm^3)**
Steam reforming plants	Nitrogen oxides (as NO_2 at 3 % O_2)	450
	Sulphur dioxide (natural gas fuelled)	2
	Carbon monoxide	10
	Diffuse emissions	1 t/yr
	Nitrogen oxides (non-continuous emissions as NO_2)	20 kg/h
	Purge gas scrubber	40 g NH_3 per tonne NH_3 produced
Partial oxidation plants – auxiliary boiler flue gas	Sulphur dioxide	1700
	Nitrogen oxides (as NO_2)	700
	Carbon monoxide (hourly maximum) (daily average)	175 10
	Particulates (hourly maximum) (active ingredient) (daily average)	50 10
Partial oxidation plants – steam superheater flue gas	Nitrogen oxides (as NO_2)	450
	Sulphur dioxide (natural gas fuelled)	2
	Carbon monoxide	30
	Hydrogen sulphide	0.3
	Methanol	100

Emission Limit Values for Specific Materials		
Parameter	**mg/Nm^3**	**Mass flow threshold for ELVs**
Cadmium	0.1	>1 g/h
Chlorides (as HCl)	10	>0.3 kg/h
Iodides (as HI)	5	>50 g/h
Carbon disulphide	5	>0.1 kg/h
Hydrogen cyanide	2	>50 g/h
Mercaptans	2	>0.1 kg/h
Amines (total)	10	>0.1 kg/h
Trimethylamine	2	>0.1 kg/h
Phenols / cresols / xylols	10	>0.1 kg/h
1,2-Dichloroethane	5	>0.1 kg/h
Dust – pesticide contaminated [a]	0.15	>1 g/h
Dust – pharmaceutical [a]	0.15	>1 g/h

Emission Limit Values for Specific Materials		
Parameter	**mg/Nm^3**	**Mass flow threshold for ELVs**
Bromine	10	>50 g/h
Chlorine	10	>50 g/h
Iodine	10	>50 g/h
Mercury	0.1	>1 g/h
Total heavy metals	1.5	>5 g/h
Nitrogen oxides (as NO_2)	300	>3 kg/h
Sulphur oxides (as SO_2)	300	>3 kg/h
Particulates - general	20	>0.5 kg/h
1,1-Dichloroethene	5	>0.1 kg/h
Acrylonitrile	20	>0.1 kg/h
Toluene diisocyanate	1	>0.1 kg/h
Ethyl acrylate	1	[b]
Isobutyl acrylate	1	[b]
Methyl acrylate	5	[b]
n-Butyl acrylate	5	[b]
t-Butyl acrylate and higher acrylate esters	20	[b]

[a] Dust as active ingredient
[b] Only applicable to vents from bulk storage (>20 tonnes)

Emission Limit Values for General Emissions to Air (excluding Incinerator Emissions) for Materials not already covered by the Tables above			
Constituent group [a] or parameter	**Class**	**Mass flow threshold for ELV [b]**	**ELV (mg/Nm^3)**
Carcinogenic substances	T.A. Luft I T.A. Luft II T.A. Luft III Substances (other than those above) with R45 designation	>0.5 g/h >5.0 g/h >25.0 g/h >0.5 kg/h	0.1 1.0 5.0 5.0
Inorganic dust particles	T.A. Luft I T.A. Luft II T.A. Luft III	>1 g/h >5 g/h >25 g/h	0.2 1.0 5.0
Vaporous or gaseous inorganic substances	T.A. Luft I T.A. Luft II T.A. Luft III T.A. Luft IV	>10 g/h >50 g/h >0.3 kg/h >5.0 kg/h	1 5 30 500
Organic substances with photochemical ozone potential - POCP	U.K. AEA 1 U.K. AEA 2	>0.5 kg/h >2.0 kg/h	20 50
Organic substances [c]	T.A. Luft I T.A. Luft II T.A. Luft III	>0.1 kg/h >2.0 kg/h >3.0 kg/h	20 100 150
General dusts		<0.5 kg/h >0.5 kg/h	150 20
Pharmaceutical and pesticide dust (as active ingredient)		>1 g/h	0.15
Fugitive emission			[d]

Footnotes to the table:

[a] Where a substance falls into more than one category, the lower ELV applies.

[b] The mass flow is calculated in kg/h for the raw gas and is determined at the point before any gas cleaning or abatement plant, but after any devices inherent in the process (e.g. after reactor overhead condensers or after product cyclones). Mass flow is the maximum emission which can occur over any one hour period of plant operation, from the entire site. Where the mass flow exceeds the mass threshold, then abatement will be required down to the appropriate ELV, unless the concentration of the raw gas is already below the ELV, in which case no further abatement is required.

[c] Where organic substances of several classes are present, in addition to the above limit, the sum of classes I and II shall not exceed the class II limit and the sum of classes I, II and III shall not exceed the class III limit.

[d] Fugitive solvent emissions should comply with the requirement of the Solvent Directive (Council Directive 1999/13/EC [cww/tm/88]) or licence as appropriate

Releases to water:
The ELVs for discharges to water are based on 24 hours flow proportional composite samples, unless otherwise specified.

Effluent load should be minimised by recovery of materials wherever practible. The use of lower quality water may be possible for some parts of the process rather than fresh water.

Excluding uncontaminated rainwater, all releases to waters are subject to a licence from the Environmental Protection Agency. However, any discharge to a sewer will require the consent of the local authority or sewerage undertaker. BATNEEC to minimise the release of substances will generally include minimisation at source and either specific treatment of contaminated waste streams to remove particular substances or co-treatment of combined effluent streams or both.

Emission Limit Values for Discharges to Water [a]		
Constituent group or parameter	**ELV**	**Footnote**
pH	6-9	5
Number of Toxicity Units	10	2, 5
Total Nitrogen (as N)	>80 % removal or 15 mg/l	5
Total phosphorous (as P)	>80 % removal or 2 mg/l	5
Total ammonia (mg/l as N)	10	5
Oils, fats and grease (mg/l)	10	5
Organohalogens (mg/l)	0.1 (monthly means)	4, 5
Phenols (mg/l)	1.0	5
Cyanide (mg/l as CN)	0.2	5
Mercury (mg/l)	0.05	5, 7
Tin (mg/l)	2.0	5, 7
Lead (mg/l)	0.5	5, 7
Chromium(VI) (mg/l as Cr)	0.1	5, 7
Total chromium (mg/l as Cr)	0.5	5, 7
Cadmium (mg/l)	0.05	5, 7
Zinc (mg/l)	0.5	5, 7
Copper (mg/l)	0.5	5, 7
Mineral oil (mg/l) interceptors	20	5
Mineral oil (mg/l) biological treatment	1.0	5
Directive 76/464/EC, List 1	according to list 1	
BTX (mg/l combined)	0.1 (monthly means)	
Genetically modified organisms	as per Directive 90/219/EEC and S.I. No. 345 of 1994	
BOD	=91 % total removal	1
COD	=75 % total removal	1, 6
Fish tainting	No tainting	3

Footnotes to the table:
[a] All values refer to daily averages, exept where otherwise stated to the contrary, and except for pH which refers to continuous values.
[1] The daily raw waste load for BOD/COD is defined as the average daily mass arising for treatment over any three month period. Calculation of the removal rates for BOD/COD should be based on the differences between the waste loads arising for disposal and those discharges to the receiving waters. The amounts removed by treatment (physical, chemical, biological) may be included in the calculation. Calculation of the raw waste loads of BOD/COD shall exclude any waste load associated with microbial cell biomass removal and solvent recovery. However, residual amounts remaining after these practices may be included in the raw waste load calculation. For certain specific effluents where the BOD/COD removal rates are unattainable, a concentration limit may be more appropriate. This will be a matter for inclusion in a licence.

[2] Toxicity unit = 100/x hour E(L)C50 in vol-%, where x is defined by the test procedure. The toxicity of the process effluent to at least two appropriate aquatic species shall be determined.
[3] No substance shall be discharged in a manner, or at a concentration which, following initial dilution, causes tainting of fish or shellfish, interferes with normal patterns of fish migration or accumulates in sediments or biological tissues to the detriment of fish, wildlife or their predators.
[4] Within 6 months of the commencement of production (or as may be relevent on a campaign basis), the effluent should be screened for a priority pollutant list.
[5] Consent conditions for these parameters for discharge to municipal treatment plants can be established with the licencing authority and different values may apply.
[6] This limit applies only to

- manufacture of chemicals in an integrated chemical installation
- manufacture of olefins and their derivatives or of monomers and polymers, including styrene and vinyl chloride
- manufacture, by way of chemical reaction processes, of organic or organo-metallic chemical products
- manufacture of pesticides, pharmaceutical or veterinary products and their intermediates.

[7] Where the metallic content of the effluent arises as an unavoidable contaminant of raw materials, then these limits may not apply

9. ITALY

Emissions to Air

"Emission limit values for the containment of pollutant emissions from existing plants"
[Supplemento ordinario N. 51 alla Gazzetta Ufficiale Italiana n. 176 del 30 luglio 1990 – Serie generale]

The emission limit values for existing plants (i.e. plants built or authorised before the approval of the law above) are set by three Annexes:

Annex 1 reports general emission limit values
Annexes 2 and 3 list specific limits and prescriptions for the activities reported therein
Annex 4 reports sampling, analysis and emissions assessment methods
Annex 5 reports abatement techniques
Annex 6 reports diffuse emissions
Annex 7 reports fugitive emissions

Please note:
Only an extract of Annex 2 is reported in this document.
Limit emission values have not yet been set for the new plants in Italy.

ANNEX 1 (GENERAL EMISSION LIMIT VALUES):

1.1 Substances considered as carcinogenic and/or teratogenic and/or mutagenic (Table A1)
1.2 Substances with very high toxicity and bioaccumulability (Table A2)
2. Inorganic substances, preferably in the form of dust (Table B)
3. Inorganic substances, preferably in the form of gas or vapour (Table C)
4. Organic substances in the form of gas, vapour or dust (Table D)
5. Total dust

ANNEX 2 (SPECIFIC EMISSION LIMITS FOR THE PLANTS LISTED BELOW):

1. Combustion plants with thermal power <50 MW
2. Essication plants
3. Internal combustion engines
4. Gas turbines fixed
5. Waste incinerators
6. Cement plants
7. Furnaces for the calcination of bauxite, dolomite, gypsum, limestone, diatomite, magnesite, quartzite
8. Furnaces for the production of glass
9. Furnaces for the baking of clay ceramic products
10. Plants for the fusion of mineral products, particularly of basalt, diabase or slag
11. Plants for the production of ceramic tiles
12. Plants for the agglomeration of pearlite, schist or expanded clay
13. Plants for the production or the fusion of compounds of bitumen of tars, and mineral products included the plants for the preparation of roads works materials based on bitumen and the plants for the production of rubble of tar
14. Dry coal distillation plants (cokeries)
15. Plants for the agglomeration of iron mineral
16. Plants for the production of pig iron
17. Plants for the steel production by converter. Electric arc furnaces and under vacuum fusion furnaces
18. Iron and steel foundry
19. Heat treatments furnaces for lamination plants and other treatments
20. Plants for metal surface finishing with melted zinc
21. Plants for metal surface treatments by nitric acid
22. Plants for the production of iron alloys by electrothermal or pyrometallurgic processes
23. Plants for the primary production of non-ferrous metal processes
24. Plants for the production of aluminium
25. Plants for the fusion of aluminium
26. Plants for the secondary fusion of others non-ferrous metal and their alloys
27. Plants for the production of lead accumulators
28. Plants for the production of sulphur oxide, sulphuric acid and oleum
29. Plants for the production of chlorine
30. Claus plants for the production of sulphur
31. Plants for the production, granulation and essication of phosphorous, nitrogen or potassium containing fertilizers
32. Plants for the production of acrylonitrile
33. Plants for the production of pesticides active ingredients
34. Plants for the production of polivinyl choride (PVC)
35. Plants for the production of poliacrylonitrile polymers
36. Plants for the production and manufacturing of viscose
37. Plants for the production of nitrosylsulphuric acid
38. Plants for the production of poliesters
39. Plants of production of cellulose acetate fibres
40. Plants for the production of poliammidic fibres
41. Plants for the formulation specialties pesticides
42. Plants for the nitration of cellulose
43. Plants for the production of titanium dioxide
44. Plants for the production of acrylic fibres
45. Plants for the production of polycarbonate
46. Plants for the production of black carbon
47. Plants for the production of carbon or electrographite with burning, example electrodes production

48. Plants for the series painting of the automotives bodies and their components with exception of bus bodies
49. Others painting plants
50. Plants for the production of rubber products
51. Plants for the impregnation of glass fibres or mineral fibres with resins
52. Plants for the production of sugar
53. Plants for extraction and the refining of olive husk oil
54. Plants for extraction and the refining of seed oils

ANNEX 3 (LARGE UTILITIES AND SPECIFIC FIELDS):

A: Large Combustion Plants
Field of application
Emission values time requirements for compliance
Abatement technique malfunction of abatement plants

B: Mineral Oil Refineries
Field of application
Emission values
Measurements
Other prescriptions
Time requirements for compliance of Refineries

C: Plants for the cultivation of hydrocarbons and geothermal fluids
Application field
Cultivation of hydrocarbons
Plants using geothermal fluids

ANNEX 4 (SAMPLING, ANALYSIS AND EMISSIONS ASSESSMENT METHODS)

ANNEX 5 (ABATEMENT TECHNIQUES)

Summary table
Application criteria

ANNEX 6 (DIFFUSE EMISSIONS)

ANNEX 7 (FUGITIVE EMISSIONS)

ANNEX 1: Mass flow threshold and concentration limits
(standard conditions: 0 °C, 101.3 kPa; hourly values)

1.1 Substances considered as carcinogenic and/or teratogenic and/or mutagenic (Table A1)

Table A1

Class I

If the mass flow equals or exceeds 0.5 g/h: 0.1 mg/Nm^3

- Asbestos (chrysotile, crocidolite, amosite, antofillite, actinolite and tremolite)
- Benzo(a)pyrene
- Beryllium and its compounds, expressed as Be
- Dibenzo(a,h)anthracene
- 2-Naphthylamine and its salts

- Benzo(a)anthracene
- Benzo(b)fluoranthene
- Benzo(j)fluoranthene
- Benzo(k)fluoranthene
- Dibenzo (a,h) acridine
- Dibenzo(a)pyrene
- Dimethylnitrosamine
- 5-Nitroacenaphthene
- 2-Nitronaphthalene
- 1-Methyl-3-Nitro-1-Nitrosoguanidin

Class II

If the mass flow equals or exceeds 5 g/h: 1 mg/Nm^3

- Arsenic and its compounds, expressed as As
- Chromium(VI) and its compounds, expressed as Cr
- Cobalt and its compounds, expressed as Co
- 3,3'-Dichlorobenzidine and its salts
- Dimethyl sulphate
- Ethylenimine
- Nickel and its compounds, expressed as Ni
- 4-Aminobiphenyl and its salts
- Benzidine and its salts
- 4,4'-Methylene-bis(2-Chloroanilin) and its salts
- Diethyl sulphate
- 3,3'-Dimethylbenzidine and its salts
- Hexamethylphosphorotriamide
- 2-Methylaziridine
- Methyl azoxymethyl acetate
- Sulfallate
- Dimethyl carbamoylchloride
- 3,3'-Dimethoxybenzidine and its salts

Class III

If the mass flow equals or exceeds 25 g/h: 5 mg/Nm^3

- Acrylonitrile
- Benzene
- 1,3-Butadiene
- 1-Chloro-2,3-epoxipropane (epichlorohydrine)
- 1,2-Dibromoethane
- 1,2-Epoxipropane
- 1,2-Dichloroethane
- VCM
- 1,3-Dichloro-2-propanol
- Chloromethyl methyl ether
- N,N-Dimethylhydrazine
- Hydrazine
- Ethylene oxide
- Ethylene thiourea
- 2-Nitropropane
- Bis-Chloromethylether
- 3-Propanolide
- 1,3-Propane sultone
- Styrene oxide

1.2 Substances with very high toxicity and bioaccumulability (Table A2)

Table A2

Class I

If the mass flow equals or exceeds 0.02 g/h: 0.01 mg/Nm^3

- PCDD
- PCDF

Class II

If the mass flow equals or exceeds 0.5 g/h: 0.5 mg/Nm^3

- PCB
- PCT
- Polychloronaphthenes

2. Inorganic substances, preferably in the form of dust (Table B)

Table B

Class I

If the mass flow equals or exceeds 1 g/h: 0.2 mg/Nm^3

- Cadmium and its compounds, expressed as Cd
- Mercury and its compounds, expressed as Hg
- Thallium and its compounds, expressed as Tl

Class II

If the mass flow equals or exceeds 5 g/h: 1 mg/Nm^3

- Selenium and its compounds, expressed as Se
- Tellurium and its compounds, expressed as Te

Class III

If the mass flow equals or exceeds 25 g/h: 5 mg/Nm^3

- Antimony and its compounds, expressed as Sb
- Cyanides, expressed as CN
- Chromium(III) and its compounds, expressed as Cr
- Manganese and its compounds, expressed as Mn
- Palladium and its compounds, expressed as Pd
- Lead and its compounds, expressed as Pb
- Platinum and its compounds, expressed as Pt
- Quartz, pulverised, if in the form of crystallised silicon expressed as SiO2
- Copper and its compounds, expressed as Cu
- Rhodium and its compounds, expressed as Rh
- Tin and its compounds, expressed as Sn
- Vanadium and its compounds, expressed as V

3. Inorganic substances, preferably in the form of gas or vapour (Table C)

Both mass flows and concentrations refer to single substances or substances families.

Table C

Class I

If the mass flow is equals or exceeds 10 g/h: 1 mg/Nm^3

- Chlorocyanide
- Phosphine
- Phosgene

Class II

If the mass flow equals or exceeds 50 g/h: 5 mg/Nm^3

- Hydrocyanidric acid
- Bromine and its compounds, expressed as hydrobromic acid
- Chlorine
- Fluorine and its compounds, expressed as hydrofluoric acid
- Hydrogen sulphide

Class III

If the mass flow equals or exceeds 0.3 kg/h: 30 mg/Nm^3

- gaseous or vaporous inorganic chlorine compounds, excluded chlorocyanide and phosgene, expressed as hydrochloric acid

Class IV

If the mass flow equals or exceeds 2 kg/h: 250 mg/Nm^3

- Ammonia

Class V

If the mass flow equals or exceeds 5 kg/h: 500 mg/Nm^3

- NO_x (NO and NO_2), expressed as NO_2
- SO_x (SO_2 and SO_3), expressed as SO_2

4. Organic substances in the form of gas, vapour or dust (Table D)

Table D

Class I

If the mass flow equals or exceeds 25 g/h: 5 mg/Nm^3

- Anisidine
- Butylmercaptan
- Chlorpicrine
- Diazomethane
- Dichloroacetylene
- Dinitrobenzene
- Dinitrocresol
- Hexachlorobutadiene
- Hexachlorocyclopentadiene
- Hexafluoroacetone
- Diglycidyl ether
- Ethyl acrylate
- Ethylene imine
- Ethylmercaptan
- Isocyanates
- Methyl acrylate
- Nitroglycerine
- Perchloromethylmercaptan
- 1,4-Dioxane

Class II

If the mass flow equals or exceeds 0.1 kg/h: 20 mg/Nm^3

- Acetaldehyde
- Chloroacetic acid
- Formic acid
- Thioglycolic acid
- Trichloroacetic acid
- Phthalic anhydride
- Maleic anhydride
- Aniline
- Benzylchloride
- Biphenyl
- Butyl acrylate
- Butylamine
- Camphor synthetic
- Tetrabromomethane
- Tetrachloromethane
- Cyclohexylamine
- Chloroacetaldehyde
- 1-Chloro-1-nitropentane
- Cresol
- Crotonaldehyde
- 1,2-Dibutylaminoethanol
- Dibutylphosphate
- o-Dichlorobenzene
- 1,1-Dichloroethene
- Dichloroethylether
- Dichlorophenol
- Dichloromethane
- Diethylamine
- Diphenylamine
- Diisopropylamine
- Dimethylamine
- Ethylamine
- Ethanolamine
- 2-Ethoxyethanol

- 2-Ethoxyethyl acetate
- Phenol
- Phthalates
- 2-Furaldehyde
- Furfurol
- Triiodomethane
- Isophorone
- Isopropylamine
- Methylacrilonitrile
- Methylamine
- Methylaniline
- Bromomethane
- Methyl n-butylbromide
- Chloromethane
- Methyl 2-cyanoacrilate
- Methylstyrene
- 2-Methoxyethanol
- 2-Methoxyethanol acetate
- Nitroethane
- Nitromethane
- 1-Nitropropane
- Nitrotoluene
- Pyretre
- Pyridine
- Lead alkyls
- 2-Propenal
- 1,1,2,2-Tetrachloroethane
- Tetrachloroethene
- Tetranitromethane
- m- and p-Toluidine
- Tributyl phosphate
- Trichlorophenol
- Trichloroethene
- Trichloromethane
- Triethylamine
- Trimethylphosphine
- Vinylbromide
- Xylenes (excluded 2,4-xylene)
- Formaldehyde

Class III

If the mass flow equals or exceeds 2 kg/h: 150 mg/Nm^3

- Acrylic acid
- Acetonitrile
- Propionic acid
- Acetic acid
- n-Butanol
- i-Butanol
- sec-Butanol
- tert-Butanol
- Methanol
- Butyraldehyde
- p-tert-Butyltoluene
- 2-Butoxyethanol
- Caprolactam
- Carbon disulphide
- Cyclohexanone
- Cyclopentadiene
- Chlorobenzene
- 2-Chloro-1,3-butadiene
- o-Chlorostyrene
- o-Chlorotoluene
- p-Chlorotoluene
- Cumene
- Diacetonalcohol (4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone)
- 1,4-Dichlorobenzene
- 1,1-Dichloroethane
- Dichloropropane
- Diethanolamine
- Diethylformamide
- Diisobutylketone
- N,N-Dimethylacetamide
- N,N-Dimetylformamide
- Dipropylketone
- Hexamethylendiamine
- n-Hexane
- Ethylamylketone
- Ethylbenzene
- Ethylbutylketone
- Ethyleneglycol
- Isobutylglycidyl ether
- Isopropoxyethanol
- Methyl methacrylate
- Methylamylketone
- o-Methylcyclohexanone
- Methyl chloroform
- Methylformiate
- Methylisobutylketone
- Methylisobutylcarbinol
- Naphthalene
- Propyleneglycol
- Propyleneglycol monomethyl ether
- Propionaldehyde
- Styrene
- Tetrahydrofurane
- Trimethylbenzene
- n-Veratraldehyde
- Vinyl acetate
- Vinyltoluene
- 2,4-Xylene

Class IV

If the mass flow equals or exceeds 3 kg/h: 300 mg/Nm^3

- Propanol
- Isopropanol
- n-Amyl acetate
- Methyl benzoate
- n-Butyl acetate
- Isobutyl acetate
- Diethylketone
- Difluorodibromomethane
- sec-Hexyl acetate
- Ethyl formiate
- Methyl acetate
- Methylethylketone
- Methylisopropylketone
- N-Methylpyrrolidone
- Pinene
- n-Propyl acetate
- Isopropylen acetate
- Toluene
- Xylene

Class V

If the mass flow equals or exceeds 4 kg/h: 600 mg/Nm^3

- Acetone
- Ethanol
- Butane
- Cyclohexane
- Cyclohexene
- Chloropentane
- Chlorobromomethane
- Chlorodifluoromethane
- Chloropentafluoroethane
- Dibromodifluoroethane
- Dibutylether
- Dichlorofluoromethane
- Dichlorotetrafluoroethane
- Diethylether
- Diisopropylether
- Dimethylether
- Heptane
- Hexane (technical)
- Isopropyl ether
- Ethyl acetate
- Methylacetylene
- Methylcyclohexane
- Pentane
- 1,1,1,2-Tetrachloro-2,2-difluoroethane
- 1,1,2,2-Tetrachloro-1,2-difluoroethane
- Trichlorofluoromethane
- 1,1,2-Tricloro-1,2,2-trifluoroethane
- Trifluoromethane
- Trifluorobromomethane

5. Total dust

The emission values are:

Class I

If the mass flow equals or exceeds 0.5 kg/h: 50 mg/Nm^3

Class II

If the mass flow equals or exceeds 0.1 kg/h and remains below 0.5 kg/h: 150 mg/Nm^3

Asbestos (particles in suspension and fibres): Emission limit value must not exceed 0.1 mg/Nm3 [DLGS 17/03/1995, n. 114 Gazz. Uff. – Serie generale n. 92 del 20 Aprile 1995]

Extract of Annex 2

32. Installations for the production of acrylonitrile

The waste gas produced by the reactor and the absorber must be burnt. The gaseous emission produced during the purification products of distillation by reaction and the one coming from the transfer must be conveyed to suitable abatement systems.

34. Installations for the production of PVC

VCM (vinyl chloride monomer) residues in the polymer must be reduced to minimal values, especially in the boundaries between open and closed system; the final value is to further reduce vinyl chloride concentration in the gaseous stream coming from the dryer.

PVC mass flow	10 mg VCM/kg PVC
Homopolymers in suspension	100 mg VCM/kg PVC
Copolymers in suspension	400 mg VCM/kg PVC
PVC in micro-suspension and emulsion of PVC	1500 mg VCM/kg PVC

The gaseous stream coming from the dryer must be used as raw material in a combustion plant, to further reduce vinyl chloride concentration.

Emissions to Water

Provisions for the water protection against pollution and adoption of the Council Directive 91/271/EEC concerning urban waste water treatment and of the Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources [Decreto legislativo 11 May 1999, no. 152, updated by D. Lgs 18 august 2000, n. 258)].

Emission limit values for wastewater discharges in surface water bodies and in municipal sewage systems.

Parameter	Unit	Discharge into surface water bodies	Discharge into municipal collecting systems	Discharge into Venice Lagoon and surface water bodies of its draining area (extract)
pH		5,5-9,5	5,5-9,5	6.0 – 9.0
Temperature	°C	(1)	(1)	
Colour		not perceptible after dilution of 1:20	not perceptible after dilution 1:40	not perceptible after dilution of 1:10
Odour		must not cause nuisance	must not cause nuisance	must not cause nuisance
Coarse material		absent	absent	absent
TSS	mg/l	80	200	35
BOD_5 (as O_2)	mg/l	40	250	25
COD (as O_2)	mg/l	160	500	120
Aluminium	mg/l	1	2.0	
Arsenic	mg/l	0.5	0.5	
Barium	mg/l	20	-	
Boron	mg/l	2	4	
Cadmium	mg/l	0.02	0.02	
Total Chromium	mg/l	2	4	
Chromium(VI)	mg/l	0.2	0.20	
Iron	mg/l	2	4	
Manganese	mg/l	2	4	
Mercury	mg/l	0.005	0.005	
Nickel	mg/l	2	4	
Lead	mg/l	0.2	0.3	
Copper	mg/l	0.1	0.4	
Selenium	mg/l	0.03	0.03	
Tin	mg/l	10		

Parameter	Unit	Discharge into surface water bodies	Discharge into municipal collecting systems	Discharge into Venice Lagoon and surface water bodies of its draining area (extract)
Zinc	mg/l	0.5	1.0	
Total Cyanide (as CN)	mg/l	0.5	1.0	
Free active chlorine	mg/l	0.2	0.3	
Sulphide (as S)	mg/l	1	2	
Sulphite (as SO_2)	mg/l	1	2	
Sulphate (as SO_3) (2)	mg/l	1000	1000	
Chloride (2)	mg/l	1200	1200	
Fluoride	mg/l	6	12	
Total phosphorus (as P) (3)	mg/l	10	10	
Ammonium (as NH_4) (3)	mg/l	15	30	
Nitrite (as N) (3)	mg/l	0.6	0.6	
Nitrate (as N) (3)	mg/l	20	30	
Fat and animal/vegetable oil	mg/l	20	40	
Total hydrocarbons	mg/l	5	10	
Phenols	mg/l	0.5	1	
Aldehydes	mg/l	1	2	
Aromatic organic solvents	mg/l	0.2	0.4	
Nitrogen containing organic solvents	mg/l	0.1	0.2	
Total surfactants	mg/l	2	4	
Pesticides (containing phosphorus)	mg/l	0.10	0.10	
Total pesticides (exclusive phosphorous containing ones), and also:	mg/l	0.05	0.05	
- Aldrin	mg/l	0.01	0.01	
- Dieldrin	mg/l	0.01	0.01	
- Endrin	mg/l	0.002	0.002	
- Isodrin	mg/l	0.002	0.002	
Chlorinated organic solvents	mg/l	1	2	
Escherichia coli (4)	cfu/100 ml	Footnote		
Acute toxicity test (5)		Sample considered not to be acceptable if after 24 hours the fraction of immobilised test organisms 50 %	Sample considered not to be acceptable if after 24 hours the fraction of immobilised test organisms 80 %	

Footnotes to the table:

(1) Dependent on the receiving water bodies, the following prescriptions apply:

- Running waters: The maximum temperature difference before and after the discharge point is 3°C
- Lakes: The wastewater temperature must be 30 °C and further than 50 meters from the discharge point the temperature increase in the water body must be 3 °C

- Artificial channels: The maximum mean value temperature in any section must not exceed 35 °C
- Sea and estuary/delta zones of non significant rivers: The wastewater temperature must not exceed 35°C and further than 1000 meters from the discharge point the temperature increase in the water body must be 3 °C.

(2) These limits do not apply to wastewaters discharged into the sea (assimilation is provided for sea coastal waters).
(3) Industrial wastewaters discharged into sensitive areas must respect the total phosphorous and total nitrogen limits of 1 mg/l and 10 mg/l, respectively.
(4) The general limit 5000 cfu/100 ml is recommended. The competent authority will establish the most appropriate limit according to environmental, hygienic and sanitary situation of the water body and to existing uses.
(5) The toxicity test is obligatory. In addition to Daphnia magna test, acute toxicity tests can be done on Ceriodaphnia dubia, Selenastrum capricornutum, bioluminescent bacteria or other organisms such as Artemia salina for salt containing wastewater effluents or other organisms that will be indicated. The worst test result must be considered. A positive test is not straight penalised, but the following actions are required: a deep analytical investigation, the search of the toxicity sources and their removal.

10. LUXEMBURG

No information supplied.

11. THE NETHERLANDS

The Netherlands has two main framework environmental acts: the '**Environmental Management Act**' and the '**Surface Water Pollution Act**'. These acts together provide the framework for issuing environmental permits and for setting the conditions of the permits. The acts comply with the requirements of the IPPC Directive and integrated permitting is guaranteed by a coordinated licensing procedure from the competent authorities. Both framework acts govern a number of Decrees and Regulations that provide requirements with regard to potentially polluting activities.

The **Netherlands emission Regulations** (NeR) are concerned with process emissions to air and function as guidelines for the issuing of licences and/or for the adjustment of licensing conditions. The NeR has been used for guidance in the granting of licences from 1 May 1992.
In the NeR, concentration standards for different substances are given, which constitute upper limits for distinct point sources, depending on mass flow. Furthermore, in 'special regulations' rules departing from the 'general emission standards' for certain industries or specific installations are given.

The emissions standards in the NeR are not legally binding and the NeR does not replace existing binding agreements. However, if the licensing authority wishes to depart from the NeR, the reasons for doing so must be stated explicitly in the preamble to the licence.

Voluntary agreements
Voluntary agreements or covenants (in Dutch: Convenanten) are declarations of intent on the implementation of environmental policy for certain industrial sectors. The declarations of intent are agreements between the authorities and the industry. Participation in a covenant gives the authorities and companies the advantage of a more transparent, coherent and predictable path of environmental improvement and investments. The covenants are applied in two fields:

- general environmental performance on 'traditional' pollutants
- energy efficiency.

General Environmental Performance on 'Traditional' Pollutants

In the declaration of intent of this voluntary agreement, the authorities have drawn up an **Integral Environmental Target Plan** (IETP), based on the **National Environmental Policy Plan** (NEPP), the **Memorandum on Water Management**, the **North Sea Action Plan**, the **Rhine Action Programme**, the **Memorandum on Energy Conservation** and other official plans at the time of signature.

The Integral Target Plan is concerned with environmental pollution of the traditional pollutants (SO_x, NO_x, VOC, heavy metals, PAH, etc.) caused by the relevant industrial sector. The IETP has been drawn up in 1994/1995, and will be adjusted in 2000 and 2010. Apart from the reduction of emissions into the air, water and soil, the IETP also incorporates policy with regard to energy conservation, water conservation, soil clean up, hazard risk, odour nuisance, noise and internal management systems. However, especially for energy conservation and CO_2 reduction, two other covenants have been agreed upon.

For the chemical industry a declaration of intent was signed on April 2, 1993. A significant factor is the understanding that in view of the wide range of disparate companies in the chemical industry, the contribution of each individual company to the implementation of the IETP in the industry may vary. The responsibility of individual companies to contribute to the implementation of the IETP in the industry requires that these companies take an active stance. The contribution of a company will be defined in Company Environmental Plans ('BMPs'), which are drawn up by each company. These BMPs are renewed every four years and must be agreed upon by the licensing authority.

Energy Efficiency: Long-Term Agreements on Energy Efficiency

In the Netherlands, '**Long-Term Agreements on Energy Efficiency** (MJAs)' have been made between the Ministry of Economic Affairs and representative organisations of many industrial sectors. The most important aspect of the MJAs is the target value for improvement of energy efficiency in the relevant industrial sector within a certain time frame. For the elaboration of the MJAs, bilateral agreements are made between the individual companies and the facilitating agency, which is NOVEM. For the chemical industry, an MJA was signed on 24 November 1993 and the agreed improvement of energy efficiency was 20% over the period 1989-2000. The target has been achieved by the sector and a second round of MJAs is now in preparation, although most of the chemical industry companies will probably join the 'Benchmarking' covenant.

Energy Efficiency: Benchmarking covenant

The Benchmarking covenant is an agreement between the Dutch authorities and the Dutch energy intensive industry. In contrast to the above mentioned MJAs, no fixed quantified target for energy efficiency improvement is set. Instead, the industry agrees to belong to the world top in energy efficiency and the authorities will then refrain from impairing additional energy tax measures. The reason for this different approach is that in the light of international competition, industry has asked the government to look at the relative effort on energy efficiency of Dutch industry in relation to their foreign competitors. The agreement is open to all companies with an energy use of 0,5 PJ per year or more. The principle agreement was signed on July 6, 1999, between the industrial organisations and the authorities. Now that the principle agreement has been signed, the agreement is open to individual companies to sign up to the covenant.

Emission Levels Associated With BAT for Process Emissions

Categories**	Emission level associated with BAT (mg/Nm^3)	Threshold (kg/hr)	Remark
Extremely hazardous substances			
Dioxins & furans	0-0.1 ng/Nm^3 I-TEQ	no threshold	Minimisation obligated
PCB's	0-0.1 ng/Nm^3 pcb-TEQ	no threshold	Minimisation obligated
Particulates			
Particulate matter	5–25	no threshold	Depending on technique applied and process conditions
Carcinogenic substances*			
∑ C1	0-0.1	0.0005	Minimisation required
∑ C1 + C2	0-1.0	0.005	Minimisation required
∑ C1 + C2 + C3	0-5.0	0.025	Minimisation required
Organic subst. (gas and vapour)*			
∑ gO1	20	0.1	
∑ gO1 + gO2	100	2.0	
∑ gO1 + gO2 + gO3	100-150	3.0	
Organic subst. (solid)*			
∑ sO1	5–10	no threshold	See particulate matter
∑ sO2 and sO3	5–25	no threshold	See particulate matter
Inorganic subst. (gas and vapour)			
gI1	1.0	0.01	
gI2	5.0	0.05	
gI3	30	0.3	
gI4	200	5	
Inorganic substances (solid)*			
∑ sI1	0.2	0.001	
∑ sI1 + sI2	1.0	0.005	
∑ sI1 + sI2 + sI3	5.0	0.025	

* For the category of substances marked with an asterisk, the summation rule applies. This means that the given emission level applies to the sum of the substances in the relevant category plus those of the lower category.
** The different substances are classified below.

Classification of carcinogenic substances

Category	Substance
C1	benzo(a)anthracene, benzo(a)pyrene, benzo(b)fluoranthene, benzo(j)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, dibenzo(a,h)anthracene, 2-naphtylamine, 2-nitropropane, beryllium (and compounds) as Be, chromium (VI) (and compounds) as Cr.
C2	3,3-dichlorobenzidine, diethylsulphate, dimethylsulphate, ethylene oxide, nickel (and compounds) as Ni.
C3	acrylonitrile, benzene, buta-1,3-diene, 1,2-dibromomethane, 1,2-dichloroethane, epichlorohydrine, hydrazine, propylene oxide, vinyl chloride.

Organic substances

The organic substances have been classified according to their ecotoxicity. Distiction is made between gases/vapours and solids (gO and sO). The standard applies to the emission of the sum of the substances (so called 'summation rule'). Note that the classification as given above is not complete (the total list includes several hundred components), but some relevant substances have been included here.

Classification of organic substances

Category	Substance
O1	many components (e.g. acetaldehyde, acroleine, acrylic acid, amino benzene/ethane/methane, anilin, anthracene, bisphenol A, caprolactam, 1,2-dichlorobenzene, dichlorophenols, formaldehyde, methylamine, nitro-monocyclic-aromatics, organotins, phenol, pyridine, tetrachloromethane, trichlormethane).
O2	many components (e.g. 1,3/4-dichlorobenzene, cumene, ethyl-benzene, monochlorobenzene, styrene, tetrachloroethene, toluene, 1,1,1-trichloroethane, trichlorethene, xylenes)
O3	many components (e.g. dichloromethane, many alcohols, alkanes and ketones)

Inorganic substances

Distinction is made between gaseous and solid inorganics (gI and sI respectively). The reason for doing so is that the techniques that can be applied to reduce the emissions for gaseous and solid components are different. The substances have been classified according to their ecotoxicity. The standard for solid inorganics applies to the emission of the sum of the substances (so called 'summation rule').

Classification of inorganic substances

Category	Substance
gI1	arsine, chlorocyane, chlorodioxide, diborane (B_2H_6), phosphine, phosgene.
gI2	bromine (and compounds) as HBr, boron trichloride/trifluoride, chlorine, cynaic acid, fluorine (and compounds) as HF, phosphoric acid, germaniumhydride, silicon tetrafluoride/tetrahydride, nitrogen trifluoride, hydrogen sulpide, sulphuric acid.
gI3	chlorine compounds as HCl, dichloro-siliconhydride, nitric acid, silicon tetrachloride, trichloro siliconhydride, sulphur hexafluoride (SF_6)
gI4	ammonia, nitrogen oxides (as NO_2), sulphur oxides (as SO_2)
sI1	asbestos fibres*, arsenic (and compounds) as As*, cadmium (and compounds) as Cd*, iron pentacarbonyl, mercury (and compounds) as Hg, platinum compounds as Pt, rhodium compounds as Rh, silica (cristoballite, tridymite)*, silver (and compounds) as Ag, thallium (and compounds) as Tl, vanadium compounds (especially oxides, halides, sulphates and vanadates) as V.
sI2	chromylchloride, cobalt (smoke and compounds) as Co, copper smoke as Cu, lead (and inorganic lead compounds) as Pb, silica (ex cristoballite and tridymite) as respirable dust, rhodium (and non-water-solvable compounds) as Rh, selenium (and compounds) as Se, tellurium (and compounds) as Te.
sI3	antimony (and compounds) as Sb, barium (and compounds) as Ba, calciumoxide, chromium (and compounds, ex. Cr(VI)) as Cr, copper (and compounds ex smoke) as Cu, cyanides as CN, fluorides as F, manganese (smoke and compounds) as Mn, palladium (and compounds) as Pd, platinum (and non-water-solvable compounds) as Pt, potassium/sodium hydroxide, tin (and inorganic tincompounds) as Sn, vanadium (and alloys and carbide) as V, zinc chloride (smoke).
* Compounds marked with asterisk are considered carcinogenics with a threshold value. Special attention should be paid to these components	

12. PORTUGAL

No information supplied.

13. SPAIN

No information supplied.

14. SWEDEN

1. The Swedish legal situation is laid down in the Environmental Code. Each facility is tried on its own and the requirements with regard to water and gas treatment are set individually with a view to the recipient situation etc. In the Code this is formulated as a series of principles:

- the burden of proof principle - the operators must demonstrate that their operations are undertaken in an environmentally acceptable manner; the burden of proof is always on the operator
- the knowledge requirement - persons who pursue an activity must possess the knowledge that is necessary in view of the nature and scope of the activity. The purpose of the provision is to ensure that operators acquire the relevant expertise before starting operations, thus preventing damage and detriment
- the precautionary principle - the mere risk of damage or detriment involves an obligation to take the necessary measures to combat or prevent adverse health and environmental effects
- best possible technology - applies to the technology used for the operation itself and for the construction, operation and decommissioning of the plant. An essential condition is that it must be feasible in industrial and economic terms in the line of business concerned
- the polluter pays principle - the operation must pay for the preventative or remedial measures that must be taken
- the resource management and ecocycle principles - an operation must be undertaken in such a way as to ensure efficient use of raw materials and energy and minimisation of consumption and waste
- the reasonableness principle - all the rules of are to be applied in the light of benefits and costs. It is the operator who, in accordance with the burden of proof principle, must demonstrate that the cost of a protective measure is not justified from an environmental point of view or that it represents an unreasonable burden.

Hence in the permitting process, the operator will have to demonstrate what treatment techniques are valid, and suggest one or several of them to treat wastewater and wastegas etc. as required. Chosen technologies and conditions set will depend on BAT to the extent that it is available for the chemical industry, the technology is proven in similar production elsewhere, etc. A range of solutions and conditions are possible, depending on location, process technology, etc.

2. It more or less follows from this that there is no general reference literature with respect to permit writing. The technical officer in an environmental authority needs a good command of the technologies used and available or access to such knowledge, as well as the impact on the environment and what can be achieved to counter such impact. These officers give statements to the court on what is acceptable influence on the environment and how this influence should be controlled.

The actual permit is written by an Environment Court in the case of major process industries. The ruling is based on the information and advice given from national, regional and local authorities as well as the operator himself.

15. UNITED KINGDOM

No information supplied.

GLOSSAR DER BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

Chemische Formeln

Al	Aluminium = Aluminium
Al_2O_3	Aluminium oxide = Aluminiumoxid
As	Arsenic = Arsen
Cd	Cadmium = Cadmium
Br^-	Bromide ion = Bromion
Br_2	Bromine = Brom
$Ca(OH)_2$	Calcium hydroxide, lime = Calciumhydroxid, Kalk
Cl^-	Chloride ion = Chloridion
Cl_2	Chlorine = Chlor
OCl^-	Hypochlorite ion = Hypochlorition
ClO_3^-	Chlorate ion = Chloration
CN^-	Cyanide ion = Cyanidion
CO	Carbon monoxide = Kohlenmonoxid
CO_2	Carbon dioxide = Kohlendioxid
COS	Carbon oxysulphide = Kohlenoxidsulfid
Cr	Chromium = Chrom
Cr^{3+}	Chromium(III) ion = Chrom(III)ion
CrO_4^{2-}	Chromate ion = Chromation
CS_2	Carbon disulphide = Schwefelkohlenstoff
Cu	Copper = Kupfer
F^-	Fluoride ion = Fluoridion
Fe	Iron = Eisen
HBr	Hydrogen bromide = Bromwasserstoff
HCl	Hydrogen chloride = Chlorwasserstoff
	Hydrochloric acid = Salzsäure
HCN	Hydrogen cyanide = Cyanwasserstoff, Blausäure
HF	Hydrogen fluoride = Fluorwasserstoff
Hg	Mercury = Quecksilber
H_2O_2	Hydrogen peroxide = Wasserstoffperoxid
H_2S	Hydrogen sulphide = Schwefelwasserstoff
H_2SO_4	Sulphuric acid = Schwefelsäure
HNO_3	Nitric acid = Salpetersäure
N_2	Nitrogen gas = Stickstoff
NaOH	Sodium hydroxide = Natriumhydoxid
Na_2CO_3	Sodium carbonate, soda = Natriumcarbonat, Soda
$NaHCO_3$	Sodium hydrogencarbonate, -bicarbonate = Natriumhydrogencarbonat, -bicarbonat
NaOCl	Sodium hypochlorite = Natriumhypochlorit
$NaClO_3$	Sodium chlorate = Natriumchlorat
$NaHSO_3$	Sodium hydrogensulphite,-bisulphite = Natriumhydrogensulfit, -bisulfit
NH_2CN	Cyanamide = Cyanamid
$(NH_2)_2CO$	Urea = Harnstoff
NH_3	Ammonia = Ammoniak
NH_4^+	Ammonium ion = Ammoniumion
Ni	Nickel = Nickel
N_2O	Nitrous oxide = Distickstoffoxid (Lachgas)
NO	Nitrogen oxide = Stickstoffmonoxid
NO_2	Nitrogen dioxide = Stickstoffdioxid
NO_2^-	Nitrite ion = Nitrition
NO_3^-	Nitrate ion = Nitration
NO_x	Nitrogen oxides (mixture of NO and NO_2) = Stickoxide (Mischung aus NO und NO_2)
O_2	Oxygen = Sauerstoff
O_3	Ozone = Ozon
P	Phosphorous = Phosphor
Pb	Lead = Blei

PO_4^{3-}	Phosphate ion = Phosphation
PO_4-P	Phosphate (calculated as P) = Phosphat (berechnet als P)
Sn	Tin = Zinn
S^{2-}	Sulphide ion = Sulfidion
SO_2	Sulphur dioxide = Schwefeldioxid
SO_3	Sulphur trioxide = Schwefeltrioxid
SO_3^{2-}	Sulphite ion = Sulfition
SO_4^{2-}	Sulphate ion = Sulfation
SO_x	Sulphur oxides (mixture of SO_2 and SO_3) = Schwefeloxide (Mischung aus SO_2 and SO_3)
Zn	Zinc = Zink

Prefixes

p	piko	10^{-12}
n	nano	10^{-9}
µ	mikro	10^{-6}
m	milli	10^{-3}
c	centi	10^{-2}
d	deci	10^{-1}
h	hekto	10^{2}
k	kilo	10^{3}
M	mega	10^{6}
G	giga	10^{9}
T	tera	10^{12}
P	peta	10^{15}

Einheiten und Umrechnungsfaktoren

billion	1000 million = 1000 Millionen = 1 Millarde
°C	degree Celsius, centigrade = Grad Celsius
cm	centimetre = Zentimeter
d	day = Tag
g	gram = Gramm
h	hour = Stunde
I-TEQ	International toxicity equivalents of dioxins = Internationale Toxizitätsequivalente für poly-chlorierte Dibenzo-p-dioxine und -furane
J	Joule = Joule (1 J = 0.239 cal)
kg	kilogram = Kilogramm
kPa	kilopascal = Kilopascal (1 kPa = 10 mbar)
kWh	kilowatt-hour = Kilowattstunde (1 kWh = 3.6 MJ)
l	litre = Liter (1 l = 0,001 m^3)
m	metre = Meter
mg	milligram = Miligramm
m^2	square metre = Quadratmeter
m^3	cubic metre = Kubikmeter
MJ	megajoule = Megajoule (1 MJ = 239 kcal = 0,2778 kWh)
MPa	megapascal = Megapascal (1 MPa = 10 bar)
Nm^3	Normal m^3 = Normkubikmeter (cubic metre for gases, measured at 101.3 kPa and 273.15 K) = (Kubikmeter für Gase bei 101,3 kPa und 273,15 K)
Pa	pascal = Pascal (pressure = Druck; 1 Pa = 1 N/m^2)
ppm	parts per million (by weight) = Teilchen je Million (bei Gewicht)
ppmv	parts per million (by volume) = Teile je Million (ppm x molecular weight/22.41 = mg/Nm^3; 1 ppm NO_2 = 2.05 mg/Nm^3 NO_2) = (ppm x Molekulargewicht/22,41 = mg/Nm^3; 1 ppm NO_2 = 2,05 mg/Nm^3 NO_2)
s	second = Sekunde
S	siemens = Siemens
tonne	metric tonne = Tonne (1 tonne = 1000 kg)
v-%	percentage by volume = Volumenprozent
wt-%	percentage by weight = Gewichtsprozent
yr	year = Jahr

Ω	ohm = Ohm

Abkürzungen / Akronyme

ACP	Anaerobic Contact Process = Anaerob-Kontaktverfahren
ACR	Anaerobic Contact Reactor = Anaerob-Kontaktreaktor
AMS	Automated Measuring System (installed and operating continuously in the field) = Automatisches Messsystem (in der Praxis kontinuierlich betrieben)
AOX	Adsorbable Organic Halides = Adsorbierbare organische Halogene
API	American Petroleum Institute = Amerikanisches Erdölinstitut
ATS	Austrian Schilling (currency) = Österreichischer Schilling (Währung)
AWBA	Abwasserbehandlungsanlage (engl. WWTP)
BAT	Best Available Techniques, as defined in Art. 2(11) of the Directive = Beste verfügbare Techniken, wie sie in Artikel 2, Abs. 11 der IVU-Richtlinie definiert sind
BEF	Belgian Franc (currency) = Belgischer Franc (Währung)
BOD_x = BSB_x	Biochemical Oxygen Demand during x days (normally 5 or 7) indicating the amount of biodegradable organic matter in waste water = Biochemischer Sauerstoffbedarf in x Tagen (üblicherweise 5 oder 7), der den Gehalt an biologisch abbaubaren Stoffen im Abwasser angibt
BREF	Best Available Techniques Reference Document = BVT-Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken
BTEX	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene = Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
CEFIC	European Chemical Industry Council = Verband der Europäischen Chemischen Industrie
COD = CSB	Chemical Oxygen Demand indicating the amount of chemically oxidisable organic matter in waste water = Chemischer Sauerstoffbedarf, der den Gehalt an chemisch oxidierbaren organischen Stoffen im Abwasser angibt
CONCAWE	European Refinery Association for Environment, Health and Safety = Verband der Europäischen Raffinerien für Umwelt, Gesundheit und Sicherheit
CPI	Corrugated Plate Interceptor = Wellplattenabscheider (Schrägklärer)
CSTR	Continuously Stirred Tank Reactor = kontinuierlich betriebener Rührkesselreaktor
CWW	BREF on Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management Systems in the Chemical Sector = BVT-Referenzdokument über die Abwasser-/Abgasbehandlung und über das Abwasser-/Abgasmanagement in der chemischen Industrie
DAF	Dissolved Air Flotation = Entspannungsflotation
DDT	1,1,1-Trichloro-2,2-bis-(p-chlorophenyl)ethane; a pesticide = 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(p-chlorphenyl)ethan (auch Dichlordiphenyltrichlorethan), ein Pestizid
DEM	German Mark (currency) = Deutsche Mark (Währung)
DRE	Dampfrückgewinnungseinheit (engl. VRU)
DTA	Direct Toxicity Assessment = Direkte Toxizitätsbewertung
EC_{50}	effluent concentration in dilution water that causes a measurable negative effect on 50 % of the test population = Abwasserkonzentration in Verdünnungswasser, die eine messbare nachteilige Auswirkung auf 50% der Testpopulation hervorruft
EIPPCB	European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau = Europäisches Büro für integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
ELV	Emission Limit Value = Emissionsgrenzwert
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme (Council Regulation 761/2001) = Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung (Verordnung (EG) 761/2001)
EMFA	Energy and Material Flow Analysis = Energie- und Stoffflussanalyse
EMS = UMS	Environmental Management System = Umweltmanagementsystem
EOX	Extractable Organic Halides = Extrahierbare Organische Halogene
EQO	Environmental Quality Objectives = Umweltqualitätsziele
EQS	Environmental Quality Standards = Umweltqualitätsstandards
ESP	Electrostatic Precipitator = Elektrofilter
EUR	Euro (currency) = Euro (Währung)
FGD	Flue Gas Desulphurisation = Rauchgasentschwefelung
FIM	Finnish Mark (currency) = Finnische Mark (Währung)
FRP = GFK	Fibreglass-reinforced Plastic = Glasfaser-verstärkter Kunststoff
GAB	Gesamtabwasserbewertung (engl. WEA)
GAC = GAK	Granular Activated Carbon = Granulierte Aktivkohle
GAK	Granulierte Aktivkohle (engl. GAC)

GBP	British Pound (currency) = Britisches Pfund (Währung)
GFK	Glasfaser-verstärkter Kunststoff (engl. FRP)
GMP	Good Manufacturing Practice = Gute Verfahrenspraxis
HAP	Hazardous Air Pollutants = Gefährliche Luftschadstoffe
HEAF	High Efficiency Air Filter = Hochleistungs(luft)filter
HEAP	High Efficiency Particle Air (filter) = Hochleistungspartikelfilter; Absolutfilter
HEL = OEG	Higher Explosion Limit = Obere Explosionsgrenze
HSE	Health, Safety and Environment = Gesundheit, Sicherheit und Umwelt
IAF	Induced Air Flotation = Flotation durch Luftzuführung; Ansaugentspannungsflotation
ICC	International Chamber of Commerce = Internationale Handelskammer
IMPEL	European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law = Netzwerk der Europäischen Union für die Implementierung und für den Vollzug des Umweltrechts
IPPC = IVU	Integrated Pollution Prevention and Control = Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
IR	Infrared = Infrarot
ISO	International Organisation for Standardisation = Internationale Normenorganisation
LC_{50}	effluent concentration in dilution water that causes mortality to 50 % of the test population = Abwasserkonzentration in Verdünnungswasser, die für 50 % der Testpopulation letal ist
LCA	Life Cycle Assessment = Lebenszyklusanalyse = Ökobilanz
LDAR	Leak Detection And Repair = Lecksuche und -reparatur
LEL = UEG	Lower Explosion Limit = Untere Explosionsgrenze
LID	Lowest Ineffective Dilution; numeric value given as reciprocal dilution value (dimensionless) of the waste water at which no effects are observed = Niedrigste Verdünnungsstufe ohne Wirkeffekt; als reziproke Verdünnungszahl angegebener Zahlenwert (dimensionslos) für Abwasser, bei der noch keine Wirkung festgestellt wird
LVIC	BREF on Large Volume Inorganic Chemical Industry = BVT-Referenzdokument für die Herstellung anorganischer Grundchemikalien
LVOC	BREF on Large Volume Organic Chemical Industry = BVT-Referenzdokument für die Herstellung organischer Grundchemikalien
MEK	Methyl Ethyl Ketone = Methylethylketon
MF	Microfiltration (membrane process, waste water section) = Mikrofiltration (Membranverfahren, Abwasserteil)
MIBK	Methyl Isobutyl Ketone = Methylisobutylketon
NF	Nanofiltration (membrane process, waste water section) = Nanofiltration (Membranverfahren, Abwasserteil)
NFL	Dutch Gulden (currency) = Holländischer Gulden (Währung)
NH_4-N	Ammonium (calculated as N) = Ammonium (berechnet als N)
NO_2^-N	Nitrite (calculated as N) = Nitrit (berechnet als N)
NO_3^-N	Nitrate (calculated as N) = Nitrat (berechnet als N)
OEG	obere Explosionsgrenze (engl. HEL)
OFC	BREF on Organic Fine Chemical Industry = BVT-Referenzdokument für die Herstellung organischer Feinchemikalien
ORP	Redox potential = Redoxpotenzial
OSPAR	Oslo and Paris Convention for the Protection of the Marine Environment of the North East Atlantic = Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (Oslo-Paris-Übereinkommen oder OSPAR-Übereinkommen)
PAC	Powdered Activated Carbon = Pulveraktivkohle
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons = Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (engl. PAH)
PCDD	Polychlorinated dibenzo-p-dioxins = Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine
PCDF	Polychlorinated dibenzofurans = Polychlorierte Dibenzofurane
p.e.	Population equivalent = Einwohnergleichwert
PM	Particulate Matter (air contaminant) = Staub (Luftschadstoff)
PM_x	Particulate Matter, x µm aerodynamic diameter (air contaminant) = Staub ; x ist die Partikelgröße in µm (Luftschadstoff)
POP	Persistent Organic Pollutant = Persistenter organische Schadstoffe
PPI	Parallel Plate Interceptor = Parallelplattenabscheider

PSA	Pressure-swing Adsorption = Druckwechseladsorption
PTFE	Poly Tetrafluoro Ethene = Polytetrafluorethen (TEFLON)
PVC	Polyvinyl Chloride = Polyvinylchlorid
RO = UO	Reverse Osmosis (membrane process, waste water section) = Umkehromose (Membranverfahren für Abwasser)
SAC	Strong Acid Cation Exchanger = Stark saurer Kationenaustauscher
SBA	Strong Base Anion Exchanger = Stark basischer Anionenaustauscher
SCA	Specific Collection Area (ESP: ratio of surface area of collection electrodes to gas flow) = Spezifische Abscheidefläche (Elektrofilter: Verhältnis der Sammelelektroden-Oberfläche zum Gasvolumenstrom)
SCR	Selective Catalytic Reduction (NO_x-reduction) = Selektive katalytische Reduktion (NO_x-Minderung)
SCWO	Super Critical Water Oxidation = Überkritische Nassoxidation
SIC	BREF on Specialty Inorganic Chemical Industry = BVT-Referenzdokument für die Herstellung anorganischer Spezialchemikalien
SME = KMU	Small and Medium-size Enterprises (SME) = Klein- und mittelständische Unternehmen (KMU)
SNCR	Selective Non-catalytic Reduction (NO_x-reduction) = Selektive nichtkatalytische Reduktion (NO_x-Minderung)
SPC	Statistical Process Control = Statistische Prozessregelung
SVI = SI	Sludge Volume Index: Volume in ml occupied by 1 g of activated sludge after settlement under specified conditions for a specified time = Schlammindex: Volumen in [ml], die von einem Gramm Belebschlamm nach Sedimentation unter bestimmten Bedingungen in einer bestimmten Zeit eingenommen wird
$T_A = G_A$	Algae toxicity; determination of the non-toxicity of waste water to green algae (Scenedesmus subspicatus CHODAT), using various dilutions of waste water; value is a dimensionless number, giving the dilution factor = Algentoxizität; Durchführung verschiedener Verdünnungen von Abwasser und Bestimmung derjenigen Verdünnungsstufe, die nicht mehr toxisch auf Grünalgen (Scenedesmus subspicatus CHODAT) wirkt; der Wert ist dimensionslos und gibt den Verdünnungsfaktor an.
$T_D = G_D$	Daphniae toxicity; determination of the acute non-toxicity of waste water to daphniae (Daphnia magna STRAUS) over a 24 hour exposure period, using various dilutions of waste water; value is a dimensionless number, giving the dilution factor = Daphnientoxizität; Herstellung verschiedener Verdünnungen von Abwasser und Bestimmung derjenigen Verdünnungsstufe, die nach einer Expositionsdauer von 24 Stunden nicht mehr akut toxisch auf Daphnien (Daphnia magna STRAUS) wirkt; der Wert ist dimensionslos und gibt den Verdünnungsfaktor an.
$T_F = G_F$	Fish toxicity; determination of the acute non-toxicity of waste water to fish (Leuciscus idus L.) over a 48 hour exposure period, using various dilutions of waste water; value is a dimensionless number, giving the dilution factor = Fischtoxizität; Herstellung verschiedener Verdünnungen von Abwasser und Bestimmung derjenigen Verdünnungsstufe, die nach einer Expositionsdauer von 48 Stunden nicht mehr akut toxisch auf Fische (Leuciscus idus L.) wirkt; der Wert ist dimensionslos und gibt den Verdünnungsfaktor an.
$T_L = G_L$	Luminescent bacteria toxicity; short-term determination of the inhibitive effect (sublethal toxic effects) of waste water on the light emission of Photobacterium phosphoreum, using various dilutions of waste water; value is a dimensionless number, giving the dilution factor = Leuchtbakterientoxizität; Kurzzeit-Bestimmung der hemmenden Wirkung (subletale toxische Wirkung) von Abwasser auf die Lichtemission von Photobacterium phosphoreum mittels verschiedener Verdünnungen von Abwasser; der Wert ist dimensionslos und gibt den Verdünnungsfaktor an.
T_M	Mutagenity; determination of the lowest dilution level at which no genotoxicity of waste to the test organism Salmonella typhimurium TA 1535/pSK 1002 is observed; value is a dimensionless number, giving the dilution factor = Mutagenität; Bestimmung der niedrigsten Verdünnungsstufe, ab der die Gentoxizität von Abwasser auf den Testorganismus Salmonella typhimurium TA 1535/pSK 1002 nicht mehr feststellbar ist; der Wert ist dimensionslos und gibt den Verdünnungsfaktor an.
TOC	Total Organic Carbon = Gesamter organischer Kohlenstoff
TSS	Total Suspended Solids (in waste water) = Gesamte abfiltrierbare Stoffe (im Abwasser)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor or process = Reaktor oder Verfahren mit aufwärts durchströmtem, anaerobem Schlammbett
UEG	untere Explosionsgrenze (engl. LEL)

UF Ultrafiltration (membrane process, waste water section) = Ultrafiltration (Membranverfahren, Abwasserteil)
USD US-Dollar (currency) = US-Dollar (Währung)
USEPA United States Environmental Protection Agency = Bundesumweltamt der Vereinigten Staaten von Amerika
UV Ultra-violet = Ultraviolet
VCM Vinyl Chloride Monomer = Vinylchlorid-Monomer
VOC Volatile Organic Compounds = Flüchtige organische Stoffe
VOX Volatile Organic Halides = Flüchtige organische Halogenverbindungen
VRU Vapour Recovery Unit = Dampfrückgewinnungseinheit (DRE)
WAC Weak Acid Cation Exchanger = Schwach saurer Kationenaustauscher
WBA Weak Base Anion Exchanger = Schwach basischer Anionenaustauscher
WEA Whole Effluent Assessment = Gesamtabwasserbewertung
WEER Whole Effluent Environmental Risk = Gesamtumweltrisiko des Abwassers
WWTP = AWBA Waste Water Treatment Plant = Abwasserbehandlungsanlage

In diesem Dokument verwendete Begriffe

Aerobic processes = Aerobe Verfahren	Biologische Behandlungsverfahren mit Sauerstoff
Anaerobic processes = Anaerobe Verfahren	Biologische Behandlungsverfahren ohne Sauerstoff
Anoxic denitrification = Anoxische Denitrifikation	Verfahren, bei dem Nitrat-Stickstoff in Abwesenheit von Sauerstoff biologisch in molekularen Stickstoff überführt wird
Biological nutrient removal = Biologische Nährstoff-elimination	Stickstoff- und Phosphorelimination mittels biologischer Behandlungsverfahren
Component = Bestandteil	Stoff als Teil einer Mischung (z. B. in Abwasser, Abgas oder Abluft)
Content = Gehalt	Materie, die in einem Medium enthalten ist
Cross-media effects = Medienübergreifende Auswirkungen	Mögliche Verlagerung eines Umweltproblems von einem Umweltkompartiment in ein anderes
Denitrification = Denitrifikation	Biologisches Verfahren, bei dem Nitrat in molekularen Stickstoff oder in andere gasförmige Endprodukte umgewandelt wird
Diffuse emissions = Diffuse Emissionen	Emissionen, die nicht über bestimmte Emissionspunkte (Kamine etc.) freigesetzt werden [cww/tm/154]
Dilution factor = Verdünnungsfaktor	Wird im Zusammenhang mit der Bestimmung der Toxizität von Abwasser verwendet und ist als Verhältnis der gesamten Probenmenge nach Verdünnung zur ursprünglichen Menge der Abwasserprobe definiert, bei dem keine Wirkung auf die Testorganismen feststellbar ist; hohe Verdünnungsfaktoren entsprechen hohen Toxizitäten des Abwassers.
Effluent = ab- oder eingeleitetes Abwasser	Emissionsmassenstrom (als Abwasser), der aus einem Prozess, einer Anlage oder einem Standort emittiert wird
Emissions = Emissionen	Die von Punktquellen oder diffusen Quellen der Anlage ausgehende direkte oder indirekte Freisetzung von Stoffen, Erschütterungen, Wärme oder Lärm in die Luft, das Wasser oder den Boden entsprechend der Definition in Artikel 2 Nr. 5 der IVU-Richtlinie
Exhaust air = Abluft	Luftstrom (Abgas) aus einer Anlage, der mit gasförmigen Bestandteilen verunreinigt ist, normalerweise bei niedrigen Konzentrationen.
Existing installation = Bestehende Anlage	Eine Anlage, die in Betrieb ist oder entsprechend Artikel 2 Nr. 4 der IVU-Richtlinie bereits vor Inkrafttreten der Richtlinie bestand.
Flue gas = Rauchgas	Abgas aus Verbrennungsprozessen

Fugitive emissions = Emission von flüchtigen Stoffen	Jegliche Emissionen von flüchtigen organischen Stoffen, die nicht im gefassten Abgas enthalten sind, in die Luft, in den Boden oder ins Wasser sowie von Lösungsmitteln, die in jedweden Produkten enthalten sind. Sie beinhalten nicht gefasste Emissionen, die über Fenster, Türen, Entlüftungen und ähnliche Öffnungen in die Umwelt freigesetzt werden [cww/tm/88]
Halogenated organic compounds = Halogenierte organische Stoffe	Ein organischer Stoff, der mindestens ein Brom-, Chlor-, Fluor- oder Jodatom im Molekül enthält
Installation = Anlage	Eine ortsfeste technische Einrichtung, in der eine oder mehrere der in Anhang I der Richtlinie genannten Tätigkeiten sowie andere unmittelbar damit verbundene Tätigkeiten durchgeführt werden, die mit den an diesem Standort durchgeführten Tätigkeiten in einem technischen Zusammenhang stehen und die Auswirkungen auf die Emissionen und die Umweltverschmutzung haben können (Artikel 2 Nr. 3 der IVU-Richtlinie)
Make-up water = (aufbereitetes) Prozesswasser	Für einen Prozess eingesetztes Wasser zum Start oder zur Aufrechterhaltung einer Reaktion, zur Zubereitung einer Lösung, zum Mischen oder Verdünnen von Reaktionskomponenten
Mother liquor = Mutterlauge	Das unmittelbar aus einer Synthese oder von Ausgangsstoffen oder Nebenprodukten resultierende Abwasser, besonders die ersten wässrigen Ableitungen (konzentrierte Teilströme)
Nitrification = Nitrifikation	Biologisches Verfahren, bei dem Ammonium zunächst in Nitrit und dann in Nitrat überführt wird
Start-up, shut down operations = Anfahr- und Abfahrvorgänge	Betrieblicher Vorgang, bei dem ein Prozess, eine technische Einrichtung oder ein Behälter in oder außer Betrieb genommen wird oder zum Stillstand gebracht oder der Stillstand beendet wird. Regelmäßig hin und her pendelnde Vorgänge werden dabei nicht als Anfahr- oder Abfahrvorgänge angesehen.
Substance = Stoff	Chemisches Element und seine Verbindungen entsprechend der Definition in Artikel 2 Nr. 1 der IVU-Richtlinie
Substantial change = Wesentliche Änderung	Eine Änderung des Betriebs, die nach Auffassung der zuständigen Behörde erhebliche nachteilige Auswirkungen auf den Menschen oder die Umwelt haben können, wie es in Artikel 2 Nr. 10 b der IVU-Richtlinie definiert ist
Volatile organic compound = Flüchtige organische Verbindung	Jede organische Verbindung, die bei 293,15 K einen Dampfdruck von 0,01 kPa oder höher, oder eine entsprechende Flüchtigkeit unter bestimmten Anwendungsbedingungen aufweist [cww/tm/88]
Waste gas = Abgas	Das über einen Kamin oder aus einer Minderungseinrichtung in die Luft emittierte Abgas, das flüchtige organische Verbindungen (VOC) oder andere Schadstoffe enthält [cww/tm/88]
Waste water = Abwasser	Das aus chemischen Prozessen, Produktaufarbeitungen, Rohstoffaufbereitungen, der Reinigung von technischen Einrichtungen, Lagereinrichtungen und Umschlagvorgängen anfallende Abwasser. Regenwasser und indirektes Kühlwasser fallen wegen der in den Mitgliedsstaaten unterschiedlichen Abwasserdefinitionen nicht darunter. Vielmehr wird Regenwasser und die Notwendigkeit seiner Behandlung separat behandelt. Kühlwasser ist Gegenstand des betreffenden BVT-Referenzdokuments über industrielle Kühlsysteme.