

**Integrierte Vermeidung und Verminderung der
Umweltverschmutzung (IVU)**

**Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken
bei industriellen Kühlsystemen**

Dezember 2001

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 3 und 4 des von der Europäischen Kommission veröffentlichten BVT-Merkblattes „Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems“, in denen die Besten Verfügbaren Techniken beschrieben sind, sowie das Glossar und die Anhänge IV und XI sind im Rahmen dieser Verwaltungsvereinbarung in Auftrag des Umweltbundesamtes übersetzt worden.

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

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

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

Dieses Dokument ist auf der Homepage des Umweltbundesamtes unter www.bvt.umweltbundesamt.de abrufbar.

Durchführung der Übersetzung in die deutsche Sprache:

Margaret & Werner Siegel

Übersetzungen - Dolmetscherdienst

Wilhelm-Leuschner-Str. 40 B

D-63263 NEU-ISENBURG

Tel.: +49 (0)6102-4689

Fax: +49 (0)6102-22426

E-Mail: werner-siegel@t-online.de

ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Referenzdokument über die Anwendung von besten verfügbaren Techniken bei industriellen Kühlsystemen (BREF) beruht auf einem Informationsaustausch nach Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung. Das Dokument ist im Zusammenhang mit dem Vorwort zu sehen, das die Zielsetzungen des Dokuments beschreibt und Hinweise zu seiner Verwendung gibt.

Im Rahmen der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung ist die industrielle Kühlung als horizontale Thematik eingestuft worden. Das heißt, dass im vorliegenden Dokument die “besten verfügbaren Techniken” (BVT) ohne eingehende Beurteilung des zu kühlenden industriellen Prozesses eingeschätzt werden. Allerdings werden die BVT für ein Kühlsystem im Rahmen der Kühlanforderungen des industriellen Prozesses betrachtet. Es wird anerkannt, dass BVT für die Kühlung eines Prozesses eine komplexe Angelegenheit darstellen, bei der die Kühlanforderungen des Prozesses, die standortspezifischen Faktoren und die Umwelthanforderungen so abzuwägen sind, dass ein Einsatz unter wirtschaftlich und technisch vertretbaren Verhältnissen ermöglicht wird.

Der Ausdruck “industrielle Kühlsysteme” bezieht sich auf Systeme zur Abfuhr überschüssiger Wärme aus jeglichem Medium durch Wärmeaustausch mit Wasser und/oder Luft, um die Temperatur des betreffenden Mediums in Richtung auf das Umgebungsniveau abzusenken.

Im vorliegenden Dokument werden BVT für Kühlsysteme beschrieben, die in ihrer Funktion als Hilfssysteme für den Normalbetrieb eines industriellen Prozesses betrachtet werden. Dabei wird anerkannt, dass sich der zuverlässige Betrieb eines Kühlsystems positiv auf die Zuverlässigkeit des industriellen Prozesses auswirkt. Der Einsatz eines Kühlsystems unter dem Gesichtspunkt der Prozesssicherheit gehört jedoch nicht zum Umfang dieses BREF.

Das vorliegende Dokument stellt ein integriertes Konzept zur Bestimmung der BVT für industrielle Kühlsysteme vor, wobei anerkannt wird, dass die endgültige BVT-Lösung hauptsächlich standortspezifisch ist. Im Hinblick auf die Auswahl eines Kühlsystems soll im Rahmen dieses Konzepts lediglich untersucht werden, bei welchen Aspekten ein Zusammenhang mit der Umweltleistung des Kühlsystems besteht, es soll jedoch kein angewandtes Kühlsystem ausgewählt und (dis-)qualifiziert werden. Wo Emissionsminderungsmaßnahmen zur Anwendung kommen, zielt das BVT-Konzept auf eine Herausstellung der damit verbundenen medienübergreifenden Wirkungen ab und betont auf diese Weise, dass es bei der Senkung der verschiedenen Emissionen von Kühlsystemen auf Ausgewogenheit ankommt.

Die fünf Kapitel des Hauptdokuments beinhalten das BVT-Konzept, die Kernfragen und Prinzipien, die Kühlsysteme und ihre Umweltaspekte, die wichtigsten BVT-Ergebnisse und die Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die weitere Arbeit. Die elf Anhänge enthalten Hintergrundinformationen zu spezifischen Aspekten der Auslegung und des Betriebs von Kühlsystemen und Beispiele zur Veranschaulichung des BVT-Konzepts.

1. Das integrierte Konzept

Das integrierte BVT-Konzept betrachtet die Umweltleistung des Kühlsystems im Kontext der ökologischen Gesamtleistung eines industriellen Prozesses. Es zielt auf die Minimierung der indirekten wie auch der direkten Auswirkungen des Betriebs eines Kühlsystems ab. Ihm liegt die Erfahrung zugrunde, dass die Umweltleistung der Kühlung eines Prozesses zu einem großen Teil von der Wahl und Auslegung des Kühlsystems abhängt. Deshalb liegt bei neuen Anlagen der Konzeptschwerpunkt auf der Emissionsvermeidung durch Wahl einer geeigneten Kühlkonfiguration und durch fachgerechte Auslegung und Konstruktion des Kühlsystems. Weiterhin werden verminderte Emissionswerte durch Optimierung des täglichen Betriebs erreicht.

Bei bestehenden Kühlsystemen gibt es kurzfristig geringere Möglichkeiten der Emissionsvermeidung durch technologische Maßnahmen; hier liegt das Schwergewicht auf der Emissionsverminderung durch optimierten Betrieb und optimierte Systemsteuerung. Zahlreiche Parameter wie verfügbarer Raum, einsetzbare

Betriebsmittel und rechtliche Auflagen stehen bei bestehenden Systemen möglicherweise fest und lassen nur wenige Freiheitsgrade für Änderungen offen. Das allgemeine BVT-Konzept im vorliegenden Dokument kann jedoch als langfristiges Ziel betrachtet werden, das sich mit den Zyklen für den Austausch von Anlagenteilen bestehender Anlagen vereinbaren lässt.

Das BVT-Konzept erkennt an, dass die Kühlung ein wesentlicher Bestandteil vieler industrieller Prozesse ist und als wichtiges Element des gesamten Energiemanagementsystems anzusehen ist. Bei industriellen Prozessen ist der effiziente Energieeinsatz unter den Gesichtspunkten des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit sehr wichtig. BVT bedeutet in erster Linie, dass die Energieeffizienz des Industrie- oder Fertigungsprozesses insgesamt zu beachten ist, bevor Maßnahmen zur Optimierung des Kühlsystems ergriffen werden. Zur Steigerung der Energieeffizienz strebt die Industrie nach Reduzierung der nicht rückgewinnbaren Wärmemenge durch Anwendung eines fachgerechten Energiemanagements und durch Realisierung diverser integrierter Energiesparprogramme. Dazu gehören der Energieaustausch zwischen verschiedenen Betriebseinheiten innerhalb des gekühlten Industrie- oder Fertigungsprozesses sowie Verknüpfungen mit angrenzenden Prozessen außerhalb dieses Prozesses. Es besteht ein Trend hin zu einer regionalen Wärmerückgewinnung in Industriegebieten, in denen Industriestandorte untereinander oder mit Fernheizungs- bzw. Gewächshausanlagen gekoppelt sind. Wo keine weitere Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung möglich ist, muss die Wärme möglicherweise in die Umgebung freigesetzt werden.

Bei der nicht rückgewinnbaren Wärme wird zwischen einem niedrigen (10-25 °C), einem mittleren (25-60 °C) und einem hohen Temperaturbereich (60 °C) unterschieden. In der Regel werden für den niedrigen Temperaturbereich Nasskühlsysteme und für den hohen Temperaturbereich Trockenkühlsysteme eingesetzt. Für den mittleren Temperaturbereich wird keinem bestimmten Kühlprinzip der Vorzug gegeben, und es kommen unterschiedliche Konfigurationen vor.

Nachdem der Energiegesamtwirkungsgrad des Industrie- oder Fertigungsprozesses optimiert wurde, bleibt eine bestimmte Menge nicht rückgewinnbarer Wärme in einem bestimmten Temperaturbereich übrig, und zur Ableitung dieser Wärme kann eine erste Auswahl für eine Kühlkonfiguration erfolgen, indem folgende Faktoren abgewogen werden:

- die Kühlanforderungen des Prozesses,
- die Standortbeschränkungen (einschließlich örtlicher Vorschriften) und
- die Umweltauforderungen.

Die Kühlanforderungen des Industrie- oder Fertigungsprozesses müssen grundsätzlich erfüllt werden, um zuverlässige Prozessbedingungen zu gewährleisten, einschließlich der Inbetriebnahme und Abschaltung. Die erforderliche Mindestprozessstemperatur und die notwendige Kühlleistung muss jederzeit gewährleistet sein, damit der Wirkungsgrad des Industrie- oder Fertigungsprozesses gesteigert und Produktverluste und Emissionen in die Umwelt gesenkt werden können. Dies ist umso wichtiger, je temperaturempfindlicher diese Prozesse sind.

Die in Frage kommenden Auslegungsvarianten und Betriebsarten eines Kühlsystems werden durch die Standortbedingungen eingeschränkt. Diese sind durch die örtlichen Klimaverhältnisse, durch die Verfügbarkeit von Wasser für Kühlzwecke und dessen Einleitbarkeit, durch den vorhandenen Platz für Bauten und durch die Emissionsempfindlichkeit der Umgebung eingegrenzt. Je nach dem Prozesskühlbedarf und der erforderlichen Kühlleistung kann die Wahl des Standorts für eine neue Anlage von großer Bedeutung sein (z. B. ausreichende Kaltwasserquelle). Wenn für die Standortwahl andere Kriterien maßgeblich sind oder es sich um bereits bestehende Kühlsysteme handelt, stehen die Kühlanforderungen des Prozesses und die Standortmerkmale fest.

Für die Kühlung spielen die örtlichen Klimaverhältnisse eine große Rolle, da sie Einfluss auf die Temperatur des eingesetzten Kühlmediums Wasser bzw. Luft haben. Das örtliche Klima ist durch Höhe und Verlauf der Feucht- und Trockenthermometertemperaturen gekennzeichnet. Normalerweise werden Kühlsysteme so ausgelegt, dass sie die Kühlanforderungen auch unter den ungünstigsten Klimabedingungen erfüllen, die örtlich auftreten können, d. h. bei den höchsten Feucht- und Trockenthermometertemperaturen.

Der nächste Schritt bei der Wahl und Auslegung des Kühlsystems richtet sich auf die Einhaltung der BVT-Anforderungen im Rahmen der Erfordernisse des zu kühlenden Prozesses und der Standortbedingungen. Dies bedeutet, dass der Schwerpunkt hier auf der Wahl geeigneter Materialien und Ausrüstung zur Senkung des Wartungsaufwands und zur Vereinfachung des Betriebs des Kühlsystems und der Erfüllung von Umweltaforderungen liegt. Neben der Freisetzung von Wärme in die Umgebung können noch andere Umweltbelastungen auftreten, wie z. B. die Emission von Substanzen, die zur Konditionierung von Kühlsystemen verwendet werden. Es wird mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass in den Fällen, wo die Menge und Temperatur der abzuleitenden Wärme gesenkt werden kann, der resultierende Effekt auf die Umwelt geringer wird.

Die Prinzipien des BVT-Konzepts lassen sich auch auf bereits bestehende Kühlsysteme anwenden. Dafür stehen mitunter technologische Möglichkeiten zur Verfügung, wie z. B. eine veränderte Kühltechnologie oder Änderungen bzw. Modifizierungen der vorhandenen Einrichtungen oder eingesetzten Chemikalien, doch ihre Anwendung ist nur in begrenztem Maße möglich.

2. Angewandte Kühlsysteme

Kühlsysteme basieren auf thermodynamischen Prinzipien und sind so ausgelegt, dass sie den Wärmeaustausch zwischen Prozess- und Kühlmedium fördern und die Freisetzung nicht rückgewinnbarer Wärme in die Umgebung erleichtern. Industrielle Kühlsysteme können nach ihrer Konstruktion und dem Hauptkühlprinzip unterteilt werden: Einsatz von Wasser oder Luft oder kombinierter Einsatz von Wasser und Luft als Kühlmedium.

Der Wärmeaustausch zwischen Prozess- und Kühlmedium wird durch Wärmetauscher verbessert. Aus den Wärmetauschern wird die Wärme durch das Kühlmedium in die Umgebung abgeleitet. Bei offenen Systemen kommt das Kühlmedium mit der Umgebung in Kontakt. Bei geschlossenen Systemen zirkuliert das Kühl- oder Prozessmedium in Rohren oder Rohrschlangen und hat keinen direkten Kontakt mit der Umgebung.

An Orten, wo genügend Kühlwasser und aufnehmendes Oberflächenwasser zur Verfügung steht, werden für Anlagen hoher Leistung meist Durchlaufsysteme verwendet. Ist kein verlässliches Wasservorkommen vorhanden, kommen Umlaufsysteme (Kühltürme) zur Anwendung.

In offenen Umlauftürmen wird das Kühlwasser durch Berührung mit einem Luftstrom abgekühlt. Die Türme sind mit Vorrichtungen zur Verbesserung des Luft-Wasser-Kontakts ausgerüstet. Der Luftstrom kann entweder mechanisch durch Ventilatoren oder durch Naturzug erzeugt werden. Kühltürme mit mechanischem Luftzug werden häufig für kleine und große Leistungen eingesetzt. Kühltürme mit Naturzug kommen meist für hohe Leistungen zur Anwendung (z. B. Energiewirtschaft).

Bei geschlossenen Systemen erfolgt eine Kühlung der Rohre oder Rohrschlangen, in denen das Kühl- oder Prozessmedium umläuft, und diese kühlen wiederum die darin enthaltene Substanz. Bei Nasskühlsystemen kühlt ein Luftstrom durch Verdunstung die mit Wasser besprühten Rohre oder Rohrschlangen. Bei Trockensystemen werden die Rohre/Rohrschlangen lediglich von Luft umströmt. Bei beiden Auslegungen können die Rohrschlangen mit Rippen versehen sein, wodurch die Kühloberfläche und somit die Kühlwirkung vergrößert wird. In der Industrie finden geschlossene Nasskühlsysteme vielfältige Anwendung bei kleineren Wärmeleistungen. Das Prinzip der Trockenluftkühlung findet man sowohl in kleineren Industrieanwendungen als auch in großen Kraftwerken vor, sofern nicht genügend Wasser zur Verfügung steht oder der Wasserpreis sehr hoch ist.

Offene und geschlossene Hybridkühlsysteme sind spezielle mechanische Kühlturmkonstruktionen, die sich für Nass- und Trockenbetrieb eignen, um die sichtbare Fahnenbildung zu vermindern. Mit der Möglichkeit, die Systeme (insbesondere kleine Anlagen in Zellenbauweise) in Zeiten niedriger Umgebungslufttemperaturen als Trockensysteme zu betreiben, kann eine Senkung des jährlichen Wasserverbrauchs und eine Minderung der sichtbaren Fahnenbildung erreicht werden.

Tabelle 1: Beispiele für technische und thermodynamische Merkmale verschiedener Kühlsysteme für industrielle Anwendungen (außer Kraftwerke)

Kühlsystem	Kühlmedium	Hauptkühlprinzip	Mindestkühlgrenzabstände (K) ⁴⁾	Erreichbare Mindestendtemperatur des Prozessmediums ⁵⁾ (°C)	Leistung des industriellen Prozesses (MWth)
Offenes Durchlaufsystem – direkt	Wasser	Wärmeleitung/ Konvektion	3 – 5	18 – 20	< 0,01 – > 2000
Offenes Durchlaufsystem – indirekt	Wasser	Wärmeleitung/ Konvektion	6 – 10	21 – 25	< 0,01 – > 1000
Offenes Umlaufkühlsystem – direkt	Wasser ¹⁾ Luft ²⁾	Verdunstung ³⁾	6 – 10	27 – 31	< 0,1 – > 2000
Offenes Umlaufkühlsystem – indirekt	Wasser ¹⁾ Luft ²⁾	Verdunstung ³⁾	9 – 15	30 – 36	< 0,1 – > 200
Geschlossenes Nasskühlsystem	Wasser ¹⁾ Luft ²⁾	Verdunstung + Konvektion	7 – 14 ⁷⁾	28 – 35	0,2 – 10
Geschlossenes Trockenluftkühlsystem	Luft	Konvektion	10 – 15	40 – 45	< 0,1 – 100
Offene Hybridkühlung	Wasser ¹⁾ Luft ²⁾	Verdunstung + Konvektion	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 ⁶⁾
Geschlossene Hybridkühlung	Wasser ¹⁾ Luft ²⁾	Verdunstung + Konvektion	7 – 14	28 – 35	0,15 - 2,5 ⁶⁾

Anmerkungen:

- 1) Das Wasser ist das Sekundärkühlmedium und befindet sich größtenteils im Umlauf. Durch Verdunstung des Wassers wird die Wärme an die Luft abgegeben.
- 2) Die Luft ist das Kühlmedium, mit dem die Wärme an die Umwelt abgegeben wird.
- 3) Verdunstung ist das Hauptkühlprinzip. Wärmeübertragung erfolgt auch durch Wärmeleitung/Konvektion, jedoch in geringerem Maße.
- 4) Kühlgrenzabstände in Bezug auf Feucht- oder Trockenthermometertemperaturen. Die Kühlgrenzabstände von Wärmetauscher und Kühlturm müssen dazuaddiert werden.
- 5) Die Endtemperaturen sind vom Standortklima abhängig (die Angaben gelten für durchschnittliche mitteleuropäische Klimaverhältnisse mit 30 °/21 °C Trocken- /Feuchtthermometertemperatur und max. 15 °C Wassertemperatur).
- 6) Leistung kleiner Anlagen: Durch Kombination mehrerer Anlagen oder Kühlsysteme in Spezialbauweise sind höhere Leistungen erreichbar.
- 7) Bei indirekten Systemen oder bei Beteiligung von Konvektion am Kühlvorgang erhöht sich der Kühlgrenzabstand in diesem Beispiel um 3-5 K, was zu einer erhöhten Prozessstemperatur führt.

Die Tabelle zeigt die Merkmale der angewandten Kühlsysteme für bestimmte klimatische Verhältnisse. Die Endtemperatur des nach der Kühlung aus dem Wärmetauscher austretenden Prozessmediums hängt von der Temperatur des Kühlmediums und von der Auslegung des Kühlsystems ab. Wasser hat eine höhere spezifische Wärme als Luft und ist deshalb das bessere Kühlmedium. Die Temperatur der Kühlmedien Luft und Wasser ist von den örtlichen Trocken- und Feuchtthermometertemperaturen abhängig. Je höher die Feuchtthermometertemperaturen sind, desto schwieriger wird die Abkühlung des Prozesses auf niedrige Endtemperaturen.

Die Prozessendtemperatur ist die Summe der niedrigsten Umgebungstemperatur (des Kühlmediums) und der erforderlichen Mindesttemperaturdifferenz zwischen dem (in das Kühlsystem eintretenden) Kühlmedium und dem (aus dem Kühlsystem austretenden) Prozessmedium durch den Wärmetauscher, wobei letztere auch als Kühlgrenzabstand bezeichnet wird. Technisch lässt sich der Kühlgrenzabstand sehr klein auslegen, aber die Kosten sind umgekehrt proportional dessen Höhe. Je kleiner der Kühlgrenzabstand ist, desto niedriger kann die Prozessendtemperatur sein. Jeder Wärmetauscher hat seinen eigenen Kühlgrenzabstand, und im Falle zusätzlicher, in Reihe geschalteter Wärmetauscher müssen zur Berechnung der erreichbaren Endtemperatur des Prozesses alle Kühlgrenzabstände zur Temperatur des (in das Kühlsystem eintretenden) Kühlmediums hinzuaddiert werden. Weitere Wärmetauscher kommen bei indirekten Kühlsystemen zur Anwendung, wo ein zweiter Kühlkreis angeordnet wird. Dieser Sekundärkreis und der Primärkühlkreis werden durch einen Wärmetauscher gekoppelt. Indirekte Kühlsysteme werden angewandt, wenn ein Entweichen von Prozesssubstanzen in die Umwelt auf jeden Fall vermieden werden muss.

Für die üblicherweise in der Energiewirtschaft eingesetzten Kühlsysteme gelten aufgrund der besonderen Erfordernisse des Dampfkondensationsprozesses etwas andere Mindestkühlgrenzabstände und Kühlleistungen als für Nicht-Kraftwerksanwendungen. Die abweichenden Kühlgrenzabstände und entsprechenden Energieerzeugungsleistungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Beispiele für Leistungen und thermodynamische Merkmale verschiedener Kühlsysteme für Anwendungen in der Energiewirtschaft

Kühlsystem	Angewendete Kühl- grenzabstände (K)	Leistung des Energieerzeu- gungsprozesses (MWth)
Offene Durchlaufsysteme	13-20 (Temperatur-Endgefälle 3-5)	< 2700
Offener Nasskühlturm	7-15	< 2700
Offener Hybridkühlturm	15-20	< 2500
Trockener, luftgekühler Kondensator	15-25	< 900

3. Umweltaspekte der eingesetzten Kühlsysteme

Die Umweltaspekte von Kühlsystemen variieren je nach der verwendeten Kühlkonfiguration, doch der Schwerpunkt liegt vorwiegend auf der Steigerung des energetischen Gesamtwirkungsgrades und auf der Verminderung von Emissionen in die aquatische Umwelt. Die Verbrauchs- und Emissionsniveaus sind sehr standortspezifisch und weisen große Schwankungen auf, soweit eine Quantifizierung überhaupt möglich ist. Nach der Philosophie eines integrierten BVT-Konzepts müssen bei der Bewertung jedes Umweltaspekts und der damit verbundenen Emissionsminderungsmaßnahmen medienübergreifende Wirkungen berücksichtigt werden.

• Energieverbrauch

Der spezifische direkte und indirekte Energieverbrauch ist bei allen Kühlsystemen ein bedeutender Umweltaspekt. Der spezifische indirekte Energieverbrauch ist der Energieverbrauch des zu kühlenden Prozesses. Durch eine nicht optimale Kühlleistung der verwendeten Kühlkonfiguration kann dieser indirekte Energieverbrauch ansteigen, was zu einem Prozesstemperaturenanstieg (ΔK) führen kann und in kWe/MWth/K angegeben wird.

Der spezifische direkte Energieverbrauch eines Kühlsystems wird in kWe/MWth ausgedrückt und bezieht sich auf die Leistung, die von allen energieverbrauchenden Geräten (Pumpen, Ventilatoren) des Kühlsystems je abgeführte MWth gebraucht wird.

Maßnahmen zur Senkung des spezifischen indirekten Energieverbrauchs sind:

- Wahl der Kühlkonfiguration mit dem niedrigsten spezifischen indirekten Energieverbrauch (in der Regel Durchlaufsysteme),
- Anwendung einer Auslegung mit kleinen Kühlgrenzabständen und
- Senkung des Wärmeaustauschwiderstands durch fachgerechte Wartung des Kühlsystems.

In der Energiewirtschaft beispielsweise bewirkt eine Umstellung von der Durchlaufkühlung auf die Umlaufkühlung einen Anstieg des Energieverbrauchs für Hilfseinrichtungen sowie ein Absinken des Wirkungsgrades im thermischen Kreislauf.

Zur Senkung des spezifischen direkten Energieverbrauchs stehen Pumpen und Ventilatoren mit höheren Wirkungsgraden zur Verfügung. Widerstände und Druckabfälle im Prozess lassen sich durch die Auslegung des Kühlsystems und durch Anwendung von Tropfenabscheidern und Kühlturmeinbauten mit niedrigem Widerstand verringern. Eine ordnungsgemäße mechanische oder chemische Reinigung der Oberflächen sorgt für einen niedrigen Prozesswiderstand während des Betriebs.

- **Wasser**

Wasser spielt als Hauptkühlmedium für Nasskühlssysteme eine wichtige Rolle, aber auch als aufnehmende Umgebung für die Kühlwassereinleitung. Bei starker Wasserentnahme kommt es zum Aufprall und Mitreißen von Fischen und anderen Wasserlebewesen. Auch die Ableitung großer Mengen von Warmwasser kann die aquatische Umwelt beeinflussen, doch die Belastung lässt sich durch geeignete Positionierung von Zulauf und Ablauf und durch Einschätzung von Gezeiten- oder Flussmündungsströmungen so kontrollieren, dass eine angemessene Vermischung und advektive Verteilung des Warmwassers gewährleistet ist.

Der Wasserverbrauch schwankt zwischen 0,5 m³/h/MWth bei einem offenen Hybridkühlturm und bis zu 86 m³/h/MWth bei einem offenen Durchlaufsystem. Zur Verminderung großer Wasserzuläufe bei Durchlaufsystemen ist ein Wechsel zur Umlaufkühlung notwendig, wodurch gleichzeitig die Ableitung großer Mengen von warmem Kühlwasser verringert wird und ggf. auch Chemikalienemissionen und das Abfallaufkommen reduziert werden können. Der Wasserverbrauch von Umlaufsystemen kann gesenkt werden durch Erhöhung der Zykluszahl, durch Verbesserung der Zusatzwasserqualität oder durch optimierte Nutzung von vorhandenem Abwasser, welches innerhalb oder außerhalb des Standorts verfügbar ist. Beide Varianten erfordern ein komplexes Kühlwasserbehandlungsprogramm. Besonders bei kleinen Anlagen in Zellenbauweise ist eine Senkung des Wasserverbrauchs durch Hybridkühlung möglich, die in bestimmten Jahreszeiten mit geringerem Kühlbedarf oder bei niedrigen Lufttemperaturen eine Trockenkühlung ermöglicht.

Eine Verminderung des Aufpralls und Mitreißen von Wasserlebewesen ist durch die konstruktive Gestaltung und Positionierung des Wasserzulaufs und durch Einsatz diverser Vorrichtungen (Gitter, Barrieren, Licht, Schall) möglich. Die Wirksamkeit dieser Vorrichtungen ist artenabhängig. Die Kosten sind hoch, und die Maßnahmen werden vorzugsweise für Neubauten angewandt, die "auf der grünen Wiese" errichtet werden. Eine Verringerung der erforderlichen Kühlleistung, nach Möglichkeit durch verstärkte Wiederverwendung von Wärme, kann den Ausstoß von warmem Kühlwasser in das aufnehmende Oberflächengewässer reduzieren.

- **Wärmeemissionen in das Oberflächenwasser**

Wie schon erwähnt, können Wärmeemissionen in das Oberflächenwasser eine Umweltbelastung für das aufnehmende Oberflächengewässer darstellen. Einflussfaktoren sind z. B. die verfügbare Kühlkapazität des aufnehmenden Oberflächengewässers, die tatsächliche Temperatur und der ökologische Status des Oberflächengewässers. In warmen Sommerzeiten können Wärmeemissionen infolge kühlwasserbedingter Wärmeableitungen in das Oberflächengewässer zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnorm für Temperatur führen. Für zwei ökologische Systeme (Salmonidengewässer und Cyprinidengewässer) sind thermische Anforderungen in die Richtlinie 78/569/EWG aufgenommen worden. Für die Umweltbelastung von Wärmeemissionen ist nicht nur die tatsächliche Temperatur im Gewässer von Bedeutung, sondern auch der Temperaturanstieg an der Mischzongengrenze infolge der Wärmeableitung in das Gewässer. Das Ausmaß der Umweltbelastung richtet sich nach der Menge und Temperatur der in das Oberflächengewässer abgeleiteten Wärme im Verhältnis zur Größe des aufnehmenden Oberflächengewässers. In Fällen, wo Wärme in relativ kleine Oberflächengewässer abgeleitet wird und die Warmwasserfahne das gegenüberliegende Ufer des Flusses oder Kanals erreicht, kann dies zu Barrieren für die Salmonidenwanderung führen.

Neben diesen Auswirkungen können hohe Temperaturen infolge von Wärmeemissionen zu einer verstärkten Atmung und biologischen Produktion (Eutrophierung) führen, deren Folge eine niedrigere Sauerstoffkonzentration im Wasser ist.

Die obigen Aspekte und die Möglichkeiten zur Verminderung der in das Oberflächenwasser abgeleiteten Wärme müssen bei der Auslegung eines Kühlsystems berücksichtigt werden.

- **Stoffliche Emissionen in das Oberflächenwasser**

Von Kühlsystemen ausgehende Emissionen in ein Oberflächengewässer erfolgen durch:

- eingesetzte Kühlwasserzusätze und deren Reaktionsprodukte,

- Substanzen in der Luft, die durch einen Kühlturm eingetragen werden,
- Korrosionsprodukte, die durch Korrosion von Teilen des Kühlsystems entstehen, und
- Leckagen von Prozesschemikalien (Produkt) und deren Reaktionsprodukten.

Für eine ordnungsgemäße Funktion von Kühlsystemen kann die Behandlung des Kühlwassers gegen Korrosion von Anlagenteilen, Kesselsteinbildung und Mikro- und Makrobewuchs erforderlich sein. Bei offenen Durchlauf- und Umlaufkühlsystemen ist die Behandlung unterschiedlich. Bei den letztgenannten Systemen sind die Programme zur Kühlwasserbehandlung häufig sehr komplex, und es kann eine breite Palette von Chemikalien zum Einsatz kommen. Infolgedessen weisen die Emissionswerte im Abschlammwasser dieser Systeme ebenfalls große Schwankungen auf, wodurch die Erfassung repräsentativer Emissionswerte erschwert wird. Manchmal wird das Abschlammwasser vor der Ableitung einer Behandlung unterzogen.

Die Emissionen von oxidierenden Bioziden bei offenen Durchlaufsystemen, gemessen als freies Oxidationsmittel im Ablauf, schwanken zwischen 0,1 [mg FO/l] und 0,5 [mg FO/l], je nach Zugabemodus und -häufigkeit.

Tabelle 3: Chemische Bestandteile der bei Durchlauf- und Umlaufnasskühlsystemen angewandten Kühlwasserbehandlungen

Beispiele für chemische Behandlung*	Wasserqualitätsprobleme					
	Korrosion		Kesselsteinbildung		(Bio-)Bewuchs	
	Durchlauf- systeme	Umlauf- systeme	Durchlauf- systeme	Umlauf- systeme	Durchlauf- systeme	Umlauf- systeme
Zink		X				
Molybdate		X				
Silikate		X				
Phosphonate		X		X		
Polyphosphonate		X		X		
Polyolester				X		
Natürliche organische Stoffe				X		
Polymere	(X)		(X)	X		
Nichtoxidierende Biozide						X
Oxidierende Biozide					X	X

* Chromat wird wegen seiner hohen Umweltbelastung nicht mehr häufig verwendet.

Leckage und Korrosion kann durch die Wahl und Anwendung von Kühlgeräten aus solchen Werkstoffen vermindert werden, die für das vorgesehene Betriebsmilieu geeignet sind. Dieses Milieu ist definiert durch:

- die Prozessbedingungen wie Temperatur, Druck, Strömungsgeschwindigkeit,
- die zu kühlenden Medien und
- die chemischen Eigenschaften des Kühlwassers.

Als Werkstoffe für Wärmetauscher, Rohrleitungen, Pumpen und Gehäuse werden zumeist Kohlenstoffstahl, Kupfernicker- und verschiedene Qualitäten von Edelstählen verwendet, aber zunehmend wird auch Titan (Ti) eingesetzt. Zum Oberflächenschutz werden außerdem Beschichtungen und Anstriche aufgebracht.

• Einsatz von Bioziden

Bei offenen Durchlaufsystemen erfolgt die Behandlung gegen Makrobewuchs vorwiegend mit oxidierenden Bioziden. Die aufgewendete Menge kann als jährlich eingesetzter oxidativer Wirkstoff in Chlor-Äquivalenten je MWth in Verbindung mit der Stärke des Bewuchses im Wärmetauscher oder in dessen Nähe ausgedrückt werden. Der Einsatz von Halogenen als oxidativer Wirkstoff in Durchlaufsystemen führt in erster Linie durch die Bildung halogenierter Nebenprodukte zu Umweltbelastungen.

Bei offenen Umlaufsystemen kommt eine Wasservorbehandlung gegen Kesselsteinbildung, Korrosion und Mikrobewuchs zur Anwendung. Bei den verhältnismäßig kleineren Wasservolumina in Umlaufnasskühlsystemen wendet man mit Erfolg alternative Behandlungen an, wie z. B. mit Ozon und UV-Licht, die jedoch spezifische Prozessbedingungen erfordern und ziemlich kostenaufwendig sein können.

Betriebliche Maßnahmen zur Minderung der schädlichen Auswirkungen von Kühlwasserableitungen sind das Schließen des Ablassventils während der Stoßbehandlung und die Behandlung des Abschlammwassers vor der Ableitung in das aufnehmende Oberflächengewässer. Bei der Behandlung des Abschlammwassers in einer Abwasserbehandlungsanlage muss die verbleibende Biozidwirkung überwacht werden, da sie der Mikroorganismenkultur schaden kann.

Zur Senkung der Emissionen im Abfluss und zur Verminderung der Belastung der aquatischen Umwelt werden Biozide gewählt, bei denen die Erfordernisse der Kühlsysteme weitgehend mit der Empfindlichkeit der aufnehmenden aquatischen Umwelt in Einklang gebracht werden.

• Emissionen in die Luft

Die aus Trockenkühltürmen austretende Luft wird in der Regel nicht als wichtigster Aspekt der Kühlung angesehen. Im Falle von Produktleckagen kann es zwar zu einer Verunreinigung kommen, was sich aber durch ordnungsgemäße Instandhaltung vermeiden lässt.

Die Tröpfchen in der Abluft von Nasskühltürmen können mit Chemikalien zur Wasserbehandlung, mit Mikroorganismen oder mit Korrosionsprodukten verunreinigt sein. Potentielle Risiken lassen sich durch Anwendung von Tropfenabscheidern und ein optimiertes Wasserbehandlungsprogramm mindern.

Die Bildung von Kühlturmfahnen wird in Betracht gezogen, wenn eine Schattenwirkung auftritt oder die Gefahr besteht, dass die Fahne den Boden erreicht.

• Lärm

Bei großen Naturzugkühltürmen und bei allen mechanischen Kühlsystemen sind Schallemissionen ein örtliches Problem. Die ungedämpften Schallleistungspegel schwanken zwischen 70 [dB(A)] bei Naturzugkühltürmen und ca. 120 [dB(A)] bei mechanischen Kühltürmen. Unterschiede sind auf unterschiedliche Geräteausstattung und Lage der Messstellen zurückzuführen, da die Pegel am Lufteintritt und am Luftaustritt verschieden sind. Die wichtigsten Lärmquellen sind Ventilatoren, Pumpen und Fallwasser.

• Risikoaspekte

Die Risikoaspekte von Kühlsystemen betreffen Leckagen aus Wärmetauschern, die Lagerung von Chemikalien und bakterielle Verunreinigung (z. B. Legionärskrankheit) von Nasskühlsystemen.

Zur Vermeidung von Leckagen wie auch von bakteriellen Verunreinigungen dienen Maßnahmen wie vorbeugende Instandhaltung und Überwachung. Wo Leckagen zu einer Freisetzung großer Mengen von Substanzen führen könnten, die schädlich für die aquatische Umwelt sind, werden indirekte Kühlsysteme oder spezielle Präventivmaßnahmen in Betracht gezogen.

Zur Vermeidung der Entwicklung von *Legionella pneumophila* (Lp) wird ein geeignetes Wasserbehandlungsprogramm empfohlen. Für Lp konnten keine in koloniebildenden Einheiten [KBE pro Liter] angegebenen Konzentrationsgrenzwerte ermittelt werden, bei deren Unterschreitung kein Risiko zu erwarten ist. Dieses Risiko ist besonders bei Wartungsarbeiten zu beachten.

• Rückstände beim Kühlsystembetrieb

Über Rückstände oder Abfälle liegen wenig Erkenntnisse vor. Anfallender Schlamm von der Kühlwasservorbehandlung oder aus dem Kühlturmbecken sind als Abfall zu betrachten. Dieser wird in

Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung unterschiedlich behandelt und entsorgt. Konzentrationswerte variieren mit dem Kühlwasserbehandlungsprogramm.

Eine weitere Verminderung von Umweltemissionen ist durch Anwendung verträglicherer Konservierungsverfahren für die Geräte und durch Wahl von Material möglich, das sich nach Stilllegung oder nach einem Austausch von Geräten des Kühlsystems verwerten lässt.

4. Wesentliche Schlussfolgerungen zu den BVT

Die BVT bzw. das BVT-Grundkonzept für neue und bestehende Systeme sind in Kapitel 4 dargestellt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Es wird anerkannt, dass die endgültige BVT-Lösung eine standortspezifische Lösung sein wird, wobei jedoch für einige Aspekte bestimmte Techniken als allgemeine BVT benannt werden konnten. Grundsätzlich müssen die verfügbaren und anwendbaren Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Wärme geprüft und zur Reduzierung der Menge und Temperatur der nicht rückgewinnbaren Wärme genutzt worden sein, bevor die Ableitung von Wärme aus einem industriellen Prozess in die Umgebung in Erwägung gezogen wird.

Für alle Anlagen gilt als BVT eine Technologie, eine Methode oder ein Verfahren und das Ergebnis eines integrierten Konzepts zur Verminderung der Umweltbelastung durch industrielle Kühlsysteme bei Wahrung des Gleichgewichts zwischen direkten und indirekten Auswirkungen. Dabei sollten solche Verminderungsmaßnahmen in Betracht gezogen werden, bei denen der Wirkungsgrad des Kühlsystems mindestens erhalten bleibt oder bei denen der Wirkungsgradverlust im Vergleich zu den positiven Auswirkungen auf die Umweltbelastung vernachlässigbar ist.

Für eine Reihe von Umweltaspekten sind Techniken herausgearbeitet worden, die im Rahmen des BVT-Konzepts als BVT betrachtet werden können. Über BVT auf dem Gebiet der Abfallreduzierung oder für Techniken zur Abfallbehandlung unter Vermeidung von Umweltproblemen wie Boden- oder Gewässerverunreinigung oder Luftverunreinigung im Falle der Verbrennung liegen keine eindeutigen Erkenntnisse vor.

- **Prozess- und Standortanforderungen**

Wenn zur Erfüllung der Prozess- und Standortanforderungen eine Auswahl zwischen Nasskühlung, Trockenkühlung und Nass-/Trockenkühlung erfolgt, sollte dabei der höchste energetische Gesamtwirkungsgrad angestrebt werden. Zur Erzielung eines hohen Gesamtwirkungsgrads bei der Bewältigung großer Wärmemengen im niedrigen Temperaturbereich (10-25 °C) gilt als BVT die Kühlung durch offene Durchlaufsysteme. Bei Neubauten, die "auf der grünen Wiese" errichtet werden, kann dies die Wahl eines (küstennahen) Standorts rechtfertigen, wo große Kühlwassermengen zuverlässig zur Verfügung stehen und Oberflächenwasser mit ausreichender Aufnahmefähigkeit für große Mengen von Abflusskühlwasser vorhanden ist.

Wo Gefahrstoffe gekühlt werden, die (im Falle einer Emission über das Kühlsystem) eine hohe Gefährdung der Umwelt mit sich bringen, gilt als BVT die Anwendung indirekter Kühlsysteme unter Verwendung eines Sekundärkühlkreises.

Die Nutzung von Grundwasser für Kühlzwecke ist im Prinzip auf ein Minimum zu beschränken, beispielsweise in Fällen, wo eine Erschöpfung von Grundwasserquellen nicht ausgeschlossen werden kann.

- **Senkung des direkten Energieverbrauchs**

Ein niedriger direkter Energieverbrauch des Kühlsystems wird durch Verringerung des Wasser- und/ oder Luftwiderstands im Kühlsystem unter Einsatz energiesparender Geräte erreicht. In Fällen, wo der kühlende Prozess einen variablen Betrieb erfordert, ist die Modulation des Luft- und Wasserstroms mit Erfolg angewandt worden und kann als BVT angesehen werden.

- **Verminderung des Wasserverbrauchs und von Wärmeemissionen in das Wasser**

Die Senkung des Wasserverbrauchs und die Verminderung von Wärmeemissionen in das Wasser sind eng miteinander verknüpft, und auf beide treffen die gleichen technologischen Wahlmöglichkeiten zu.

Die für die Kühlung benötigte Wassermenge hängt mit der abzuleitenden Wärmemenge zusammen. Je höher der Wiederverwendungsgrad des Kühlwassers, desto geringer die benötigten Kühlwassermengen.

Als BVT gilt der wiederholte Umlauf von Kühlwasser in einem offenen oder geschlossenen Umlaufnasskühlsystem, sofern die Verfügbarkeit von Wasser gering oder unzuverlässig ist.

Bei Umlaufsystemen kann eine Erhöhung der Zykluszahl BVT sein, wobei jedoch der Kühlwasserbehandlungsbedarf ein einschränkender Faktor sein kann.

Als BVT gilt die Anwendung von Tropfenabscheidern zur Verringerung des Tröpfchennebelanteils auf weniger als 0,01 % des Gesamtumlaufstroms.

- **Verminderung des Mitrisses**

Zur Vermeidung des Einzugs von Kleinlebewesen oder zur Reduzierung von diesbezüglichen Schäden sind viele verschiedene Techniken entwickelt worden. Die Erfolge waren unterschiedlich und standortspezifisch. Eindeutige Empfehlungen von BVT liegen nicht vor, doch wird nachdrücklich auf eine Biotopanalyse verwiesen, denn Erfolg und Misserfolg hängen in starkem Maße von Verhaltensaspekten der Art und von der zweckmäßigen Konstruktion und Positionierung des Einlaufbauwerkes ab.

- **Verminderung von Chemikalienemissionen in das Wasser**

Nach dem BVT-Konzept sollte die Anwendung potentieller Techniken zur Verminderung von Emissionen in die aquatische Umwelt in folgender Reihenfolge in Betracht gezogen werden:

1. Wahl einer Kühlkonfiguration mit geringerem Emissionsgrad in das Oberflächengewässer,
2. Einsatz von korrosionsbeständigerem Material für Kühleinrichtungen,
3. Verhinderung und Verminderung des Eindringens von Prozesssubstanzen in den Kühlkreislauf,
4. Anwendung einer alternativen (nicht chemischen) Kühlwasserbehandlung,
5. Wahl von Kühlwasserzusätzen mit dem Ziel der Verminderung der Umweltbelastung und
6. optimierte Anwendung (Überwachung und Dosierung) von Kühlwasserzusätzen.

BVT ist die Reduzierung des Bedarfs an Kühlwasserconditionierung durch Eindämmung des Auftretens von Bewuchs und Korrosion mittels sachgerechter Auslegung. Bei Durchlaufsystemen besteht eine sachgerechte Auslegung in der Vermeidung von Stauzonen und Turbulenzen und in der Gewährleistung einer Mindestströmungsgeschwindigkeit des Wassers (0,8 [m/s] bei Wärmetauschern; 1,5 [m/s] bei Kondensatoren).

Bei Durchlaufsystemen mit einem stark korrosiven Milieu gilt als BVT die Wahl von Werkstoffen mit Ti-Anteil oder Edelstahl hoher Qualität bzw. anderen Werkstoffen mit ähnlichem Funktionsverhalten, wo der Ti-Einsatz durch ein reduzierendes Milieu eingeschränkt wäre.

Bei Umlaufsystemen gilt als BVT neben Auslegungsmaßnahmen die Bestimmung der angewandten Konzentrationszyklen und der Aggressivität der Prozesssubstanz, um die Wahl von Werkstoffen mit angemessener Korrosionsbeständigkeit zu ermöglichen.

Bei Kühltürmen besteht die BVT in der Anwendung geeigneter Einbauten unter Berücksichtigung der Wasserbeschaffenheit (Feststoffanteil), des zu erwartenden Bewuchses, der Temperaturen und der Erosionsbeständigkeit sowie in der Wahl von Baustoffen, die keine chemische Konservierung benötigen.

Das in der chemischen Industrie angewandte VCI-Konzept ist auf die Minimierung der Gefahren für die aquatische Umwelt im Falle einer Freisetzung von Prozesssubstanzen ausgerichtet. Dabei wird ein Bezug zwischen dem Grad der Umwelteinwirkung durch eine Prozesssubstanz, der erforderlichen Kühlkonfiguration und den Überwachungserfordernissen hergestellt. Bei erhöhten potentiellen Gefahren für die Umwelt im Falle einer Freisetzung ergibt sich aus dem Konzept eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit, eine Auslegung mit indirekter Kühlung und ein steigendes Niveau der Kühlwasserüberwachung.

- **Emissionsverminderung durch optimierte Kühlwasserbehandlung**

Die Optimierung der Anwendung von oxidierenden Bioziden bei Durchlaufsystemen basiert auf der zeitlichen Abfolge und Häufigkeit der Biozidzugabe. Als BVT gilt die Herabsetzung des Biozideinsatzes durch gezielte Dosierung in Kombination mit der Überwachung des Verhaltens von Makrobewuchsarten (z. B. Öffnen und Schließen von Muscheln) und Nutzung der Verweilzeit des Kühlwassers im System. Für Systeme, bei denen am Auslauf verschiedene Kühlströme gemischt werden, besteht die BVT in einer Wechselimpuls-Chlorung, mit der die freie Oxidationsmittelkonzentration im Abflusswasser noch weiter vermindert werden kann. Im Allgemeinen reicht bei Durchlaufsystemen eine diskontinuierliche Behandlung zur Bewuchsverhinderung aus. Je nach Bewuchsart und Wassertemperatur (über 10-12 °c) kann auch eine kontinuierliche Behandlung mit niedriger Dosis erforderlich sein.

Bei Meerwasser schwanken die BVT-Konzentrationen freier Restoxidationsmittel (FRO) im Abflusswasser im Zusammenhang mit diesen Behandlungsmethoden je nach dem angewandten Zugabemodus (kontinuierlich und diskontinuierlich) und der Dosierungskonzentration und in Abhängigkeit von der Konfiguration des Kühlsystems. Sie liegen im Bereich von $\leq 0,1$ [mg/l] bis 0,5 [mg/l], mit einem 24-Stunden-Mittelwert von 0,2 [mg/l].

Ein wichtiges Element bei der Einführung eines BVT-gestützten Konzepts in die Wasserbehandlung, besonders für Umlaufsysteme mit Einsatz nicht oxidierender Biozide, ist die fundierte Entscheidungsfindung darüber, welcher Wasserbehandlungsmodus angewandt wird und wie dieser gesteuert und überwacht werden soll. Die Wahl eines zweckmäßigen Behandlungsmodus ist eine komplexe Aufgabe, bei der man eine Reihe örtlicher und standortspezifischer Faktoren berücksichtigen und diese zu den Eigenschaften der einzelnen Behandlungswirkstoffe und deren Einsatzmengen und Kombinationen ins Verhältnis setzen muss.

Als Hilfestellung beim Vorgang der BVT-Entscheidungsfindung in Bezug auf Kühlwasserzusätze auf örtlicher Ebene verfolgt dieses BREF das Anliegen, den örtlichen Behörden, die für die Erteilung von Genehmigungen im Rahmen der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung zuständig sind, einen Wegweiser für eine Bewertung zur Verfügung zu stellen.

Die Richtlinie 98/8/EG über Biozidprodukte regelt den Handel mit Biozidprodukten auf dem europäischen Markt und wertet die in Kühlsystemen eingesetzten Biozide als eigene Kategorie.

Der Informationsaustausch zeigt, dass in manchen Mitgliedstaaten nach speziellen Bewertungssystemen für die Anwendung von Kühlwasserzusätzen verfahren wird.

Die Diskussion im Rahmen des Informationsaustausches über industrielle Kühlsysteme brachte zwei Konzeptvorschläge für Kühlwasserzusätze hervor, die von den Genehmigungsbehörden als ergänzendes Instrument benutzt werden können:

1. Ein Screening-Bewertungsinstrument auf der Basis des existierenden Konzeptes, das einen einfachen relativen Vergleich von Kühlwasserzusätzen in Bezug auf ihre potentielle Gewässerbelastung ermöglicht (Benchmarking-Bewertung, Anhang VIII.1).
2. Eine standortspezifische Bewertung der zu erwartenden Belastung durch die in das aufnehmende Gewässer abgeleiteten Biozide entsprechend dem Ergebnis der Richtlinie über Biozidprodukte und unter Anwendung der Methodik zur Festlegung von Umweltqualitätsnormen (UQN) der künftigen Wasserrahmenrichtlinie als wichtigste Elemente (die örtliche Bewertung für Biozide, Anhang VIII.2).

Die Benchmarking-Bewertung kann als Methode zur Gegenüberstellung der Umweltverträglichkeit verschiedener Kühlwasserzusätze angesehen werden, während die örtliche Bewertung für Biozide einen Maßstab für die Bestimmung eines BVT-kompatiblen Konzepts speziell für Biozide liefert (Gefährdungsquotient < 1 / PEC/PNEC < 1). Die Nutzung örtlicher Bewertungsmethodiken als Instrument zur Kontrolle von Industrieemissionen ist bereits allgemein übliche Praxis.

- **Verminderung der Emissionen in die Luft**

Die Verminderung der vom Kühlturbetrieb ausgehenden Umweltbelastung durch Luftemissionen ist an die Optimierung der Kühlwasserkonditionierung zur Konzentrationsminderung in den Tröpfchen geknüpft. Wo Tröpfchennebel als Haupttransportmechanismus fungiert, gilt als BVT die Anwendung von Tropfenabscheidern, die bewirken, dass weniger als 0,01 % des Umlaufstroms als Tröpfchennebel verloren geht.

- **Lärmminderung**

Als Primärmaßnahme ist die Anwendung geräuscharmer Geräte zu nennen. Die damit verbundenen Lärmminderungen liegen in der Größenordnung bis 5 [dB(A)].

Sekundärmaßnahmen am Eintritt und Austritt mechanischer Kühltürme bewirken Minderungen von mindestens 15 [dB(A)] oder mehr. Hierzu muss angemerkt werden, dass Lärmminderung, insbesondere durch Sekundärmaßnahmen, zu einem Druckabfall führen kann, für dessen Ausgleich ein zusätzlicher Energieeinsatz nötig ist.

- **Verminderung von Leckagen und bakteriellen Risiken**

BVT sind: Vermeidung von Leckagen durch Auslegung, durch Betrieb innerhalb der Auslegungsgrenzen und durch regelmäßige Kontrolle des Kühlsystems.

Speziell für die chemische Industrie gilt als BVT die Anwendung des bereits erwähnten VCI-Sicherheitskonzepts zur Verminderung von Emissionen in das Wasser.

Das Auftreten von Legionella pneumophila in einem Kühlsystem lässt sich nicht gänzlich vermeiden. Als BVT gilt die Anwendung folgender Maßnahmen:

- Vermeidung von Stauzonen und Gewährleistung einer ausreichenden Strömungsgeschwindigkeit des Wassers,
- Optimierung der Kühlwasserbehandlung zur Reduzierung von Bewuchs, Algen- und Amöbenwachstum und -vermehrung,
- regelmäßige Reinigung des Kühlturmbeckens und
- Herabsetzung der Infektionsgefahr beim Bedienpersonal durch Bereitstellung von Lärm und Mundschutz beim Betreten einer Betriebsanlage oder bei der Hochdruckreinigung des Kühlturms.

5. Unterscheidung zwischen neuen und bestehenden Systemen

Alle BVT-Kernschlussfolgerungen sind auf neue Systeme anwendbar. Wo es um technologische Änderungen geht, kann die Anwendung bei bestehenden Kühlsystemen eingeschränkt sein. Bei kleinen, serienmäßig hergestellten Kühltürmen wird ein Technologiewechsel als technisch und wirtschaftlich realisierbar erachtet. Bei großen Systemen sind technologische Änderungen in der Regel kostenintensiv und erfordern eine umfassende technische und wirtschaftliche Beurteilung unter Einbeziehung zahlreicher Faktoren. In manchen Fällen können sich relativ kleine Umstellungen an diesen großen Systemen durch teilweisen Geräte austausch als praktikabel erweisen. Für umfangreichere Technologieänderungen ist möglicherweise eine detaillierte Betrachtung und Bewertung der Umweltauswirkungen und der Kosten erforderlich.

Wo BVT schwerpunktmäßig auf die Verminderung der Umweltbelastung durch Verbesserung des Systembetriebs gerichtet sind, ähneln sich im Allgemeinen die BVT für neue und bestehende Systeme. Dies betrifft:

- Optimierung der Kühlwasserbehandlung durch kontrollierte Dosierung und Wahl von Kühlwasserzusätzen mit dem Ziel der Verminderung der Umweltbelastung,
- regelmäßige Anlagenwartung und
- Überwachung von Betriebsparametern wie Korrosionsrate der Wärmetauscheroberfläche, Chemie des Kühlwassers und Bewuchs- und Leckagegrad.

Als BVT für bestehende Kühlsysteme gelten zum Beispiel folgende Techniken:

- Anwendung geeigneter Kühlturmeinbauten zur Bewuchshemmung,
- Ersatz von drehenden Anlagenteilen durch geräuscharme Vorrichtungen,
- Leckagevorbeugung durch Überwachung der Wärmetauscherrohre,
- Biofilterung von Seitenströmen,
- Verbesserung der Qualität des Zusatzwassers und
- gezielte Dosierung bei Durchlaufsystemen.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die künftige Arbeit

Das vorliegende BREF fand die breite Unterstützung seitens der technischen Arbeitsgruppe (TWG). Die Bewertung und Festlegung von BVT für den Vorgang der industriellen Kühlung wird generell als komplexe und sehr standort- und prozessspezifische Aufgabe betrachtet, bei der viele technische Fragen und Kostenaspekte eine Rolle spielen. Dennoch wird das Konzept allgemeiner BVT für Kühlsysteme auf der Grundlage des allgemeinen BREF-Vorwortes und der Einführung zu den BVT in Kapitel 4 eindeutig befürwortet.

Im Zuge des Informationsaustausches kam eine Reihe von Fragen zur Sprache, die noch weitere Arbeiten erfordern, wenn das vorliegende BREF überarbeitet wird. Für die örtliche Bewertung der Kühlwasserbehandlung sind noch weitere Untersuchungen darüber vonnöten, wie man alle wesentlichen Faktoren und standortbezogenen chemischen Eigenschaften berücksichtigen kann; zugleich werden jedoch eine klare Orientierung und ein praktisch anwendbares Verfahren benötigt. Weitere Problemfelder, die noch zusätzliche Anstrengungen erfordern würden, betreffen alternative Techniken zur Kühlwasserbehandlung, die Minimierung des bakteriellen Risikos und die Bedeutung der Emissionen in die Luft.

Referenzdokument für die Anwendungen der besten verfügbaren Techniken bei industriellen Kühlsystemen

<p>EXECUTIVE SUMMARY i</p> <p>PREFACE 1</p> <p>SCOPE 5</p> <p>GLOSSARY 7</p> <p style="padding-left: 20px;">Thermodynamic definitions 14a</p> <p style="padding-left: 20px;">Other definitions 14b</p> <p style="padding-left: 20px;">Abbreviations and acronyms 13</p> <p>1 GENERAL BAT CONCEPT FOR INDUSTRIAL COOLING SYSTEMS..... 15</p> <p>1.1 Sources of heat, heat levels and application ranges 19</p> <p>1.2 Level of cooling system and influence on process efficiency 20</p> <p>1.2.1 Temperature sensitive applications 20</p> <p>1.2.2 Non-sensitive applications..... 22</p> <p>1.3 Optimising the primary process and reuse of heat 22</p> <p>1.3.1 Optimising the primary process 22</p> <p>1.3.2 Use of waste heat off-site 23</p> <p>1.4 Selecting of a cooling system in order to meet the process requirements and site conditions 23</p> <p>1.4.1 Process requirements 23</p> <p>1.4.2 Site selection 25</p> <p>1.4.3 Climatic conditions 28</p> <p>1.4.4 Mathematical modelling, simulations on models and tests on pilot loops 30</p> <p>1.5 Selecting a cooling technique in order to meet environmental requirements 30</p> <p>1.5.1 General comparison between air and water cooled systems 30</p> <p>1.5.2 Design factors and choice of materials 31</p> <p>1.5.3 Options for a technological change of existing systems..... 32</p> <p>1.5.3.1 Retrofit – reasons and considerations... 33</p> <p>1.5.3.2 Change of heat transfer technology 34</p> <p>1.5.3.3 Replacement of outdated heat transfer technology by modern one..... 36</p> <p>1.5.3.4 Upgrading existing heat transfer technology 36</p> <p>1.6 Economic considerations 37</p> <p>2 TECHNOLOGICAL ASPECTS OF APPLIED COOLING SYSTEMS 39</p> <p>2.1 Introduction 39</p> <p>2.2 Heat exchangers 41</p> <p>2.2.1 Shell and tube heat exchangers 41</p> <p>2.2.2 Plate and frame heat exchangers 41</p> <p>2.2.3 Environmental issues of heat exchangers 42</p> <p>2.3 Once-through cooling systems..... 42</p> <p>2.3.1 Direct once-through cooling systems 42</p> <p>2.3.2 Once-through cooling systems with cooling tower..... 43</p>	<p>ZUSAMMENFASSUNG..... i</p> <p>VORWORT 1</p> <p>GEGENSTAND 5</p> <p>GLOSSAR..... 7</p> <p style="padding-left: 20px;">Thermodynamische Definitionen 7</p> <p style="padding-left: 20px;">Sonstige Definitionen 8</p> <p style="padding-left: 20px;">Abkürzungen und Kurzbezeichnungen 13</p> <p>1 ALLGEMEINES BVT - KONZEPT FÜR INDUSTRIELLE KÜHLSYSTEME 15</p> <p>1.1 Wärmequellen, Temperaturniveaus und Anwendungsbereiche 19</p> <p>1.2 Wirksamkeit des Kühlsystems und sein Einfluss auf die Prozesseffizienz..... 20</p> <p>1.2.1 Temperatursensitive Anwendung 20</p> <p>1.2.2 Nichtsensitive Anwendung..... 22</p> <p>1.3 Optimierung des Primärprozesses und Wärmerückgewinnung 22</p> <p>1.3.1 Optimierung des Primärprozesses 22</p> <p>1.3.2 Abwärmenutzung außerhalb der Anlage 23</p> <p>1.4 Wahl eines Kühlsystems nach Prozesserfordernissen und Standortbedingungen..... 23</p> <p>1.4.1 Prozesserfordernisse 23</p> <p>1.4.2 Standortwahl..... 25</p> <p>1.4.3 Klimatische Bedingungen 28</p> <p>1.4.4 Mathematische Modellierung, Modellsimulationen und Tests an Pilotkreislaufsystemen..... 30</p> <p>1.5 Wahl einer Umwelterfordernissen entsprechenden Kühltechnik 30</p> <p>1.5.1 Allgemeiner Vergleich zwischen luft- und wassergekühlten Systemen..... 30</p> <p>1.5.2 Konstruktionsfaktoren und Wahl des Materials..... 31</p> <p>1.5.3 Optionen für eine Änderung der Technologie vorhandener Systeme..... 32</p> <p>1.5.3.1 Nachrüstung – Gründe und Überlegungen .. 33</p> <p>1.5.3.2 Wechsel der Wärmeübertragungstechnik 34</p> <p>1.5.3.3 Austausch veralteter durch neue Wärmeübertragungstechnik 36</p> <p>1.5.3.4 Aufrüstung vorhandener Wärmeübertragungstechnik 36</p> <p>1.6 Wirtschaftliche Erwägungen 37</p> <p>2 TECHNOLOGISCHE GESICHTSPUNKTE DER VERWENDETEN KÜHLSYSTEME 39</p> <p>2.1 Einleitung 39</p> <p>2.2 Wärmetauscher..... 41</p> <p>2.2.1 Rohr- Wärmetauscher..... 41</p> <p>2.2.2 Platten- Wärmetauscher 41</p> <p>2.2.3 Umweltfragen bei Wärmetauschern 42</p> <p>2.3 Kühlsysteme mit Einmaldurchlauf..... 42</p> <p>2.3.1 Direktkühlsysteme mit Einmaldurchlauf..... 42</p> <p>2.3.2 Direktkühlsysteme mit Einmaldurchlauf und Kühlturm 43</p>
--	--

2.3.3	Indirect once-through cooling systems	44	2.3.3	Indirekt – Kühlsysteme mit Einmaldurchlauf	44
2.4	Open recirculating cooling systems.....	45	2.4	Offene Umlauf – Kühlsysteme	45
2.4.1	Natural draught wet cooling towers.....	46	2.4.1	Nasskühltürme mit Naturzug	46
2.4.2	Mechanical draught wet cooling towers ..	48	2.4.2	Nasskühltürme mit mechanisch erzeugtem Luftzug	48
2.4.2.1	Forced draught wet cooling towers	49	2.4.2.1	Nasskühlsysteme mit Zwangszug	49
2.4.2.2	Induced draught wet cooling towers	50	2.4.2.2	Nasskühltürme mit induziertem Luftzug	50
2.5	Closed circuit cooling systems	51	2.5	Kühlsysteme mit geschlossenem Kreislauf	51
2.5.1	Air-cooled cooling systems	51	2.5.1	Kühlsysteme mit Luftkühlung	51
2.5.1.1	Natural draught dry cooling tower.....	52	2.5.1.1	Trockenkühlturm mit Naturzug	52
2.5.1.2	Air-cooled liquid cooling systems	54	2.5.1.2	Flüssigkeitskühlsysteme mit Luftkühlung ..	54
2.5.1.3	Air-cooled steam condensers.....	55	2.5.1.3	Luftgekühlte Dampfkondensatoren	55
2.5.2	Closed circuit wet cooling systems.....	56	2.5.2	Nasskühlsysteme mit geschlossenem Kreislauf	56
2.5.2.1	Mechanical draught wet closed circuit cooling systems	57	2.5.2.1	Nasskühlsysteme mit geschlossenem Kreislauf und mechanisch erzeugtem Luftzug.....	57
2.5.2.2	Evaporative steam condensers.....	57	2.5.2.2	Verdampfungs–Dampfkondensatoren	57
2.6	Combined wet/dry cooling systems	58	2.6	Kombinierte Nass-/Trocken – Kühlsysteme	58
2.6.1	Open wet/dry (hybrid) cooling towers	58	2.6.1	Offene Nass-/Trocken-(Hybrid-) Kühltürme ..	58
2.6.2	Closed circuit hybrid cooling systems	59	2.6.2	Hybrid – Kühlsysteme mit geschlossenem Kreislauf	59
2.6.2.1	Sprayed (finned) coils	60	2.6.2.1	Besprühte (gerippte) Rohrschlangen.....	60
2.6.2.2	Adiabatic coolers, wetting and pre-cooling the air that cools the coils	60	2.6.2.2	Adiabatische Kühler, Benetzen und Vorkühlen der zum Kühlen der Rohrschlangen dienenden Luft	60
2.6.2.3	Combined technology	61	2.6.2.3	Kombinierte Technik	61
2.6.2.4	Costs of hybrid systems	61	2.6.2.4	Kosten von Hybrid – Systemen	61
2.7	Recirculating cooling systems.....	62	2.7	Umlauf–Kühlsysteme	62
2.7.1	Direct recirculating cooling systems.....	62	2.7.1	Umlauf–Direktkühlsysteme	62
2.7.2	Indirect recirculating cooling systems	62	2.7.2	Indirekte Kühlsysteme mit Umlauf.....	62
2.8	Costs of cooling systems	62	2.8	Kosten von Kühlsystemen	62
3	ENVIRONMENTAL ASPECTS OF INDUSTRIAL COOLING SYSTEMS AND APPLIED PREVENTION AND REDUCTION TECHNIQUES	65	3	UMWELTASPEKTE BEI INDUSTRIELLEN KÜHLSYSTEMEN UND VERWENDETE VERFAHREN ZUR VERMEIDUNG UND VERMINDERUNG	65
3.1	Introduction	65	3.1	Einleitung	65
3.2	Consumption of energy	67	3.2	Energieverbrauch	67
3.2.1	Direct consumption of energy.....	67	3.2.1	Direkter Energieverbrauch.....	67
3.2.2	Indirect consumption of energy	67	3.2.2	Indirekter Energieverbrauch	67
3.2.3	Reduction of required energy for cooling ...	70	3.2.3	Verminderung des Energiebedarfs für die Kühlung.....	70
3.3	Consumption and emission of cooling water.	71	3.3	Kühlwasserverbrauch und –abgabe	71
3.3.1	Consumption of water.....	71	3.3.1	Wasserverbrauch.....	71
3.3.1.1	Intake of water and water requirements ...	71	3.3.1.1	Wasseraufnahme und Wasserbedarf	71
3.3.1.2	Applied techniques to reduce water consumption.....	73	3.3.1.2	Verwendete Techniken zur Verminderung des Wasserverbrauchs....	73
3.3.2	Fish entrainment	74	3.3.2	Einsaugen von Fischen	74
3.3.2.1	Level of entrainment.....	74	3.3.2.1	Umfang des Einsaugens.....	74
3.3.2.2	Applied reduction techniques	75	3.3.2.2	Zur Verminderung verwendete Verfahren.....	75
3.3.2.3	Costs of sound devices and light systems.....	77	3.3.2.3	Kosten von Beschallungsvorrichtungen und Lichtsystemen	77
3.3.3	Heat emission to surface water	77	3.3.3	Wärmeemission in Oberflächenwasser.....	77
3.3.3.1	Levels of heat emission.....	77	3.3.3.1	Höhe der Wärmeemission	77
3.3.3.2	Legislative requirements of heat emissions.....	78	3.3.3.2	Gesetzliche Anforderungen an die Wärmeemission.....	78
3.3.3.3	Applied reduction techniques	79	3.3.3.3	Zur Verminderung verwendete Verfahren.....	79
3.4	Emissions from cooling water treatment	80	3.4	Emissionen aus der Kühlwasserbehandlung.....	80

3.4.1	Application of cooling water treatment	80	3.4.1	Praxis der Kühlwasserbehandlung	80
3.4.2	Emissions of chemicals into the surface water	83	3.4.2	Chemikalienemissionen in Oberflächengewässer	83
3.4.2.1	Oxidising biocides	83	3.4.2.1	Oxidierende Biozide	83
3.4.2.2	Non-oxidising biocides	84	3.4.2.2	Nicht oxidierende Biozide	84
3.4.2.3	Factors influencing emissions of biocides	84	3.4.2.3	Faktoren, die die Biozidemission beeinflussen	84
3.4.2.4	Emission levels	85	3.4.2.4	Höhe der Emission	85
3.4.2.5	Legislation	85	3.4.2.5	Gesetzgebung	85
3.4.3	Reduction of emissions to the surface water	86	3.4.3	Verminderung von Emissionen in Oberflächengewässer	86
3.4.3.1	General approach	86	3.4.3.1	Allgemeiner Ansatz	86
3.4.3.2	Reduction by selection of material and systems design	91	3.4.3.2	Verminderung über Materialauswahl und Systemauslegung	91
3.4.4	Reduction by application of additional and alternative cooling water treatment	91	3.4.4	Verminderung durch Anwendung zusätzlicher und alternativer Kühlwasserbehandlung	91
3.4.5	Reduction of emissions by assessment and selection of cooling water additives	92	3.4.5	Emissionsverminderung durch Beurteilung und Auswahl von Kühlwasserzusätzen	92
3.4.6	Optimising the use of cooling water additives	95	3.4.6	Optimierung der Verwendung von Kühlwasserzusätzen	95
3.4.6.1	Dosage of cooling water additives	96	3.4.6.1	Dosierung von Kühlwasserzusätzen	96
3.4.6.1.1	Dosage regimes	96	3.4.6.1.1	Dosierungsstrategien	96
3.4.6.1.2	Dosage systems	98	3.4.6.1.2	Dosierungssysteme	98
3.4.6.2	Monitoring of cooling water	98	3.4.6.2	Kühlwasserüberwachung	98
3.4.6.2.1	Monitoring of scale inhibitors, corrosion inhibitors and dispersants	98	3.4.6.2.1	Überwachung von Kesselstein-, Korrosionsschutz- und Dispergiermitteln	98
3.4.6.2.2	Monitoring of biofouling	99	3.4.6.2.2	Überwachung des Bewuchses	99
3.5	Cooling air use and air emissions	101	3.5	Verwendung von Luft zur Kühlung und Emissionen an die Luft	101
3.5.1	Air requirements	101	3.5.1	Luftbedarf	101
3.5.2	Direct and indirect emissions	101	3.5.2	Direkte und indirekte Emissionen	101
3.5.3	Cooling tower plumes	103	3.5.3	Kühlturmfahnen	103
3.5.3.1	Plume formation	103	3.5.3.1	Bildung von Kühlturmfahnen	103
3.5.3.2	Plume abatement	103	3.5.3.2	Verminderung von Kühlturmfahnen	103
3.6	Noise emissions	104	3.6	Schallemissionen	104
3.6.1	Sources of noise and noise levels	104	3.6.1	Schallquellen und Schallpegel	104
3.6.2	Noise abatement	107	3.6.2	Lärmbekämpfung	107
3.6.2.1	Noise control of cascading water (wet cooling towers)	107	3.6.2.1	Bekämpfung von durch herabstürzendes Wasser verursachtem Lärm (Nasskühltürme)	107
3.6.2.1.1	Primary measures	107	3.6.2.1.1	Primärmaßnahmen	107
3.6.2.1.2	Secondary measures	107	3.6.2.1.2	Sekundärmaßnahmen	107
3.6.2.1.3	Dry-cooling towers	108	3.6.2.1.3	Trockenkühltürme	108
3.6.2.2	Noise control of mechanical equipment (mechanical draught cooling towers)	108	3.6.2.2	Lärmbekämpfung bei mechanischen Ausrüstungen (Kühltürme mit mechanisch erzeugtem Luftzug)	108
3.6.2.2.1	Primary measures	108	3.6.2.2.1	Primärmaßnahmen	108
3.6.2.2.2	Secondary measures	109	3.6.2.2.2	Sekundärmaßnahmen	109
3.6.2.3	Costs of noise reduction	109	3.6.2.3	Kosten der Lärminderung	109
3.7	Risk aspects associated with industrial cooling systems	110	3.7	Risiken in Verbindung mit industriellen Kühlsystemen	110
3.7.1	Risk of leakage	110	3.7.1	Leckagenrisiko	110
3.7.1.1	Occurrence and consequences	110	3.7.1.1	Auftreten und Folgen	110
3.7.1.2	Reduction of leakage	111	3.7.1.2	Verminderung von Leckagen	111
3.7.1.3	Reduction by preventive maintenance	112	3.7.1.3	Verminderung durch vorbeugende Instandhaltung	112
3.7.2	Storage and handling of chemicals	113	3.7.2	Lagerung von und Umgang mit Chemikalien	113
3.7.3	Microbiological risk	113	3.7.3	Mikrobiologisches Risiko	113
3.7.3.1	Occurrence of microbes	113	3.7.3.1	Auftreten von Mikroorganismen	113

3.7.3.2	Measuring of bacteria.....	114	3.7.3.2	Überwachung von Bakterien	114
3.7.3.3	Techniques to reduce microbiological risks.....	114	3.7.3.3	Techniken zur Verminderung mikrobiologischer Risiken	114
3.8	Waste from cooling system operation	117	3.8	Abfälle aus dem Betrieb von Kühlsystemen..	117
3.8.1	Formation of sludges	117	3.8.1	Bildung von Schlämmen	117
3.8.2	Residues from cooling water treatment and cleaning operations	117	3.8.2	Rückstände aus der Kühlwasseraufarbeitung und Reinigungsvorgängen	117
3.8.3	Residues as a result of retrofitting, replacing and decommissioning of the installation	117	3.8.3	Rückstände aus der Nachrüstung, dem Einsatz und der Außerbetriebnahme einer Anlage	117
3.8.3.1	Use of plastics	118	3.8.3.1	Verwendung von Kunststoffen	118
3.8.3.2	Treatment of timber used for wet cooling tower construction.....	118	3.8.3.2	Behandlung von Holz für den Bau von Nasskühltürmen	118
3.8.3.3	Wet cooling tower fill	118	3.8.3.3	Nasskühlturmeinbauten	118
4	BEST AVAILABLE TECHNIQUES FOR INDUSTRIAL COOLING SYSTEMS	119	4	BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN FÜR INDUSTRIELLE KÜHLSYSTEME.....	119
4.1	Introduction	119	4.1	Einleitung	119
4.2	A horizontal approach to defining BAT for cooling systems	120	4.2	Horizontaler Ansatz zur Festlegung von BVT für Kühlsysteme.....	120
4.2.1	Integrated heat management	121	4.2.1	Integriertes Wärmemanagement	121
4.2.1.1	Industrial cooling = Heat management	121	4.2.1.1	Industrielle Kühlung = Wärmemanagement.....	121
4.2.1.2	Reduction of the level of heat discharge by optimization of internal/external heat reuse	121	4.2.1.2	Verminderung der Wärmeabgabe durch Optimierung interner/externer Abwärmenutzung	121
4.2.1.3	Cooling system and process requirements	121	4.2.1.3	Kühlsysteme und Prozessanforderungen	121
4.2.1.4	Cooling system and site requirements	123	4.2.1.4	Kühlsysteme und Standortanforderungen.....	123
4.2.2	Application of BAT in industrial cooling systems	124	4.2.2	Anwendung von BVT bei industriellen Kühlsystemen	124
4.3	Reduction of energy consumption	125	4.3	Verminderung des Energieverbrauchs.....	125
4.3.1	General	125	4.3.1	Allgemeines	125
4.3.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	126	4.3.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	126
4.4	Reduction of water requirements.....	127	4.4	Verminderung des Wasserbedarfs.....	127
4.4.1	General	127	4.4.1	Allgemeines	127
4.4.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	127	4.4.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	127
4.5	Reduction of entrainment of organisms	128	4.5	Verminderung des Ansaugens von Organismen	128
4.5.1	General	128	4.5.1	Allgemeines	128
4.5.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	128	4.5.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	128
4.6	Reduction of emissions to water	128	4.6	Verminderung von Emissionen in das Wasser	128
4.6.1	General BAT approach to reduce heat emissions	128	4.6.1	Allgemeiner BVT – Ansatz zur Verminderung von Wärmeemissionen	128
4.6.2	General BAT approach to reduce chemical emissions to water	129	4.6.2	Allgemeiner BVT – Ansatz zu Verminderung chemischer Emissionen in das Wasser	129
4.6.3	Identified reduction techniques within the BAT-approach	131	4.6.3	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	131
4.6.3.1	Prevention by design and maintenance	131	4.6.3.1	Vermeidung durch Bauweise und Instandhaltung	131
4.6.3.2	Control by optimised cooling water treatment	133	4.6.3.2	Steuerung durch optimierte Kühlwasserbehandlung	133
4.7	Reduction of emissions to air	134	4.7	Verminderung von Emissionen in die Luft ..	134
4.7.1	General approach	134	4.7.1	Allgemeiner Ansatz.....	134
4.7.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	135	4.7.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	135
4.8	Reduction of noise emissions	135	4.8	Verminderung von Lärmemissionen	135

4.8.1	General	135	4.8.1	Allgemeines	135
4.8.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	136	4.8.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	136
4.9	Reduction of risk of leakage.....	136	4.9	Verminderung des Leckagerisikos.....	136
4.9.1	General approach.....	136	4.9.1	Allgemeiner Ansatz	136
4.9.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	137	4.9.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	137
4.10	Reduction of biological risk	137	4.10	Verminderung des biologischen Risikos.....	137
4.10.1	General approach.....	137	4.10.1	Allgemeiner Ansatz	137
4.10.2	Identified reduction techniques within the BAT-approach	138	4.10.2	Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen	138
5	CONCLUDING REMARKS	139	5	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN	139
5.1	Timing of the work.....	139	5.1	Zeitlicher Ablauf der Arbeit.....	139
5.2	Sources of information	139	5.2	Informationsquellen	139
5.3	Recommendations for future work.....	139	5.3	Empfehlung für die zukünftige Arbeit	139
	REFERENCES.....	141		LITERATURANGABEN	141
	ANNEXES	149		ANHÄNGE	149

List of Tables

Table 1.1: Heat temperature levels and application range.....	21
Table 1.2: Emissions of an average Western European power plant due to an efficiency loss of 3%	22
Table 1.3: Relative effect on the delivery of electrical power due to the application of wet, wet/dry or dry cooling towers to units of 1300 MW _e	22
Table 1.4: Relative effect on the delivery of electrical power due to the application of wet, wet/dry or dry cooling towers to a 290 MW _{th} combined cycle unit.....	23
Table 1.5: Large cooling demand-related criteria for site selection	28
Table 1.6: Climatic conditions in Europe.....	30
Table 1.7: Comparison of different cooling systems with a required maximum sound power level	34
Table 1.8: Technological upgrading options for existing systems	36
Table 1.9: Example for conversion of a once-through system into a recirculating system.....	37
Table 1.10: Example for conversion of an outdated mechanical draught wet cooling tower into modern design	38
Table 1.11: Example for replacement of outdated fill of a mechanical draught wet cooling tower with modern high efficiency fill.....	38
Table 1.12: Example for the improvement of acoustic performance by addition of sound attenuation	39
Table 2.1: Example of technical and thermodynamic characteristics of the different cooling systems for industrial (non-power plant) applications.....	42
Table 2.2: Examples of capacity and thermodynamic characteristics of different cooling systems for applications in power industry.....	43
Table 2.3: Cost elements for water and air cooling systems	65
Tabelle 3.1: Umweltaspekte der verschiedenen industriellen Kühlsysteme.....	68
Tabelle 3.2: Beispiel eines Vergleichs des jährlichen spezifischen direkten und indirekten Energiebedarfs verschiedener Kühlsysteme und der Folgen für die CO ₂ -Emissionen pro MW _{th}	72
Tabelle 3.3: Wasserbedarf der verschiedenen Kühlsysteme.....	75
Tabelle 3.4: Fischeinsaugraten (FER) an Kraftwerken. Jährliche Fänge normiert auf den Kühlwasserdurchsatz.....	79
Tabelle 3.5: Verfügbare Fischschutztechnologien für Kühlwasser-Einlassvorrichtungen.....	80
Tabelle 3.6: Anforderungen an die Wassertemperaturen für zwei ökologische Systeme (Europäische Richtlinie 78/659/EEC)	82
Tabelle 3.7: Chemische Verbindungen zur Kühlwasserbehandlung, die in Durchlauf- und Rezirkulations-Nasskühlssystemen verwendet werden	86
Tabelle 3.8: Verbrauch von Hypochlorit in Nasskühlssystemen in den Niederlanden.....	87
Tabelle 3.9: Durchschnittlich erforderlicher Luftdurchsatz für verschiedene Kühlsysteme	101
Tabelle 3.10: Beispiele von Kapazität und zugehörigen unverminderten Schall-Leistungspegeln der Kühlsystemausrüstung einer großen Raffinerie.....	106
Tabelle 3.11: Vergleich der unverminderten Schall-Leistungspegel am Lufteintritt und Luftaustritt gemessen an verschiedenen Typen von Nasskühltürmen herkömmlicher Bauart.....	106
Tabelle 3.12: Schallemissionen von verschiedenen Kühlsystemen ohne Geräuschkürzung.....	106
Tabelle 3.13: Beispiel der Kostensteigerung bei verschiedenen Ventilatorauslegungen bei verminderten Schall-Leistungspegel	109
Tabelle 3.14: Auswirkungen der Temperatur und der Behandlung mit Bioziden auf die KBE-Konzentrationen in Kühltürmen.....	117
Tabelle 4.1: Beispiele der Prozesserfordernisse und BVT	123
Tabelle 4.2: Beispiele der Charakteristika eines Standorts und BVT	124
Tabelle 4.3: BVT für die Erhöhung der gesamten Energieeffizienz	127
Tabelle 4.4: BVT für die Verminderung von Wassererfordernissen.....	128
Tabelle 4.5: BVT für die Verminderung des Einsaugens.....	129
Tabelle 4.6: BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch Auslegungs- und Instandhaltungstechniken	132
Tabelle 4.7: BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch optimierte Kühlwasserbehandlung	134
Tabelle 4.8: BVT für die Verminderung von Emissionen in die Luft.....	136
Tabelle 4.9: BVT für die Verminderung von Lärmemissionen.....	137
Tabelle 4.10: BVT zur Verminderung des Leckagerisikos	138
Tabelle 4.11: BVT zur Verminderung von biologischem Wachstum	139

List of Figures

Figure 1.1: Breakdown structure showing the factors involved in the determination of BAT for waste heat discharge systems	18
Figure 1.2: Tower plan area as a function of the percentage of time the design wet bulb temperature is exceeded	25
Figure 2.1: Schematic representation of a direct once-through cooling system	44
Figure 2.2: Schematic representation of a direct once-through cooling system with a cooling tower applied in power industry.....	45
Figure 2.3: Schematic representation of an indirect once-through cooling system	46
Figure 2.4: Schematic representation of an open recirculating system.....	47
Figure 2.5: Natural draught wet cooling tower counter flow.....	49
Figure 2.6: Natural draught wet cooling tower cross flow	50
Figure 2.7: Fan assisted natural draught cooling tower	51
Figure 2.8: Schematic representation of a forced draught tower with counter flow design.....	52
Figure 2.9: Schematic presentation of a cell type induced draught cooling tower, cross flow design.....	53
Figure 2.10: Schematic presentation of principle of a dry natural draught cooling tower.....	55
Figure 2.11: Example of natural draught dry cooling tower for a power plant application.....	55
Figure 2.12: Schematic presentation of the principle of a dry air-cooled cooling system.....	56
Figure 2.13: Example of a dry air-cooled liquid cooler in a chemical process.....	56
Figure 2.14: Schematic presentation of the principle of a direct air-cooled condenser	57
Figure 2.15: Example of an air-cooled condenser for condensation of turbine exhaust steam.....	58
Figure 2.16: Schematic presentation of the principle of a closed recirculating wet cooling tower with induced draught.....	59
Figure 2.17: Schematic representation of hybrid cooling tower principle (example applied in power industry).....	60
Figure 2.18: Schematic presentation of the principle of a closed circuit hybrid cooling tower.....	62
Figure 2.19: Combined dry/wet operation of a hybrid cooling system.....	63
Abbildung 3.1: Grafische Darstellung der wechselseitigen Beziehung zwischen den verschiedenen Problemen der Wasserqualität	85
Abbildung 3.2: Auslegungsschema für Kühlwassersysteme, die sich eine Verminderung der Biozidanwendung zum Ziel setzen	92
Abbildung 3.3: Ansatz für die Verminderung der Verwendung von Bioziden in industriellen Kühlwassersystemen.....	88
Abbildung 3.4: Zusatzkonzentrationsmodell als Folge von untauglich ausgelegten Überwachungs- und Dosierungsstrategien.....	95
Abbildung 3.5: Zusatzkonzentrationsmodell als Folge von tauglich ausgelegten Überwachungs- und Dosierungsstrategien.....	96

VORWORT

1. Status des Dokuments

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

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

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

Die Richtlinie dient der integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, die durch die im Anhang I aufgeführten Tätigkeiten verursacht wird, damit insgesamt ein hohes Umweltschutzniveau erreicht wird. Die Rechtsgrundlage der Richtlinie bezieht sich auf den Umweltschutz. Bei ihrer Umsetzung sollten auch die anderen Ziele der Gemeinschaft wie die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie berücksichtigt werden, damit 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 den regelnden Behörden und sonstigen Einrichtungen ein integriertes, ganzheitliches Betrachten des Umweltverschmutzungs- und Verbrauchspotentials der Anlage. Das Gesamtziel dieses integrierten Konzepts muss darin bestehen, das Management und die Kontrolle der industriellen Prozesse so zu verbessern, dass ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt sichergestellt wird. Von zentraler Bedeutung für dieses Konzept ist das in Artikel 3 definierte allgemeine Prinzip, das die Betreiber auffordert, alle geeigneten Vorsorgemaßnahmen gegen Umweltverschmutzungen zu treffen, insbesondere durch den Einsatz der besten verfügbaren Techniken, mit deren Hilfe sie ihre Leistungen im Hinblick auf den Umweltschutz verbessern können.

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

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

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

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

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

Die für die Erteilung von Genehmigungen zuständigen Behörden haben bei der Festlegung der Genehmigungsaufgaben die in Artikel 3 definierten allgemeinen Prinzipien zu berücksichtigen. Diese Genehmigungsaufgaben 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 Genehmigungsaufgaben 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. Zielsetzungen 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 Informationsaustauschs zu veröffentlichen.

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

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

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

4. Informationsquellen

Dieses Dokument enthält eine Zusammenfassung über Informationen, die aus verschiedenen Quellen, einschließlich insbesondere sachkundiger Angaben der zur Unterstützung der Tätigkeit der Kommission geschaffenen Arbeitsgruppen, stammen und durch die Dienste der Kommission geprüft wurden. Für alle Beiträge wird anerkennend gedankt.

5. Anleitung zum Verständnis und zur Benutzung des Dokuments

Die im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen sind als Unterstützung bei der Bestimmung der BVT in speziellen Fällen gedacht. Bei der Bestimmung der BVT und Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsaufgaben 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 1.1, 1.2, 2.1 und 2.2 geben allgemeine Informationen über die Branche und über die in der Branche angewandten industriellen Verfahren. Kapitel 3 enthält Daten und Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten in bestehenden Anlagen. Sie zeigen den Stand zum Zeitpunkt der Erarbeitung des Dokuments.

In Kapitel 1.4 und 2.4 werden Verfahren zur Emissionsverminderung und andere Methoden eingehend beschrieben, die als die wichtigsten für die Bestimmung der BVT sowohl allgemein als auch bei der Festlegung der auf BVT gestützten Genehmigungsaufgaben betrachtet werden. Diese Information schließt die Verbrauchs- und Emissionswerte ein, die bei Einsatz des Verfahrens als erreichbar betrachtet werden, und Angaben zu den mit der jeweiligen Technik verbundenen Kosten und den medienübergreifenden Aspekten sowie zu ihrer Anwendbarkeit auf Anlagen, die der IVU-Genehmigung unterliegen, zum Beispiel neue, bestehende, große oder kleine Anlagen. Verfahren, die allgemein als veraltet gelten, finden keine Berücksichtigung.

In Kapitel 1.5 und 2.5 werden die Verfahren und Emissions- und Verbrauchswerte aufgeführt, die allgemein den Anforderungen an die besten verfügbaren Techniken entsprechen. Dabei geht es darum, allgemeine Angaben zu den Emissions- und Verbrauchswerten bereitzustellen, die bei der Festlegung von auf BVT gestützten Genehmigungsaufgaben oder allgemein verbindlichen 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 Genehmigungsaufgaben 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 1.5 und 2.5 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 Genehmigungsaufgaben nicht aus rein lokalen Erwägungen festgesetzt werden. Somit ist die vollständige Berücksichtigung der im vorliegenden Dokument enthaltenen Informationen durch die Genehmigungsbehörden von größter Bedeutung.

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

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

GEGENSTAND

Das vorliegende Referenzdokument über BVT für industrielle Kühlsysteme ist ein horizontales Dokument, das sich schwerpunktmäßig mit den Kühlsystemen befasst, die üblicherweise im Zusammenhang mit den in Anhang I zur Richtlinie aufgeführten industriellen Tätigkeiten zur Anwendung kommen. Besondere Bedeutung kommt den Branchen Chemie, Nahrungsmittel, Glas, Eisen und Stahl, Raffinerien, Zellstoff und Papier sowie den Verbrennungsanlagen zu. In der Energiewirtschaft sind auf dem Gebiet der Kühlung Informationen und Erfahrungen in unvergleichlicher Menge gewonnen worden. Auch kommt es in der Energiewirtschaft bei nicht optimaler Kühlung zu den vergleichsweise größten direkten und indirekten Umweltauswirkungen. In einem separaten Anhang wird auf diese Branche gesondert eingegangen, und es erfolgt eine Einschätzung von grundlegenden Unterschieden zwischen Kraftwerken und anderen industriellen Tätigkeiten. Anlagen zur Erzeugung von Kernenergie fallen zwar nicht unter Anhang I der Richtlinie, doch finden die angewandten Umwelttechniken im vorliegenden Dokument insoweit Berücksichtigung, als sie sich auf die Kühlsysteme des konventionellen Teils dieser Anlagen beziehen. Auf Kühlsysteme in kleinen Verbrennungsanlagen und Klimaanlage für den Einsatz in der Industrie und in Privathaushalten wird nicht eingegangen.

Der Bedeutungsumfang des Begriffs "Kühlsysteme" ist in diesem Referenzdokument auf Systeme zur Ableitung von Abwärme aus jeglichem Medium beschränkt, die einen Wärmeaustausch mit Wasser und/oder Luft nutzen, um die Temperatur des betreffenden Mediums in Richtung auf Umgebungsniveau abzusenken. Dies schließt nur einen Teil der Kältesysteme ein, wobei jedoch die Problematik der Kältemittel wie Ammoniak und FCKW ausgeklammert bleibt. Des Weiteren erfolgt keine Einschätzung von Direktkontaktkühlung und Einspritzkondensatoren, da diese Verfahren als zu prozessspezifisch erachtet werden. Im vorliegenden Dokument werden die folgenden industriellen Kühlsysteme bzw. -konfigurationen behandelt:

- Durchlaufkühlsysteme (mit oder ohne Kühlturm)
- Offene Umlaufkühlsysteme (Nasskühltürme)
- Geschlossene Kühlsysteme
 - luftgekühlte Kühlsysteme
 - geschlossene Nasskühlsysteme
- Kombinierte Nass-/Trockenkühlsysteme (Hybridkühlsysteme)
 - offene Hybridkühltürme
 - geschlossene Hybridkühltürme

Im vorliegenden Dokument sind BVT für Kühlsysteme beschrieben, die in ihrer Funktion als Hilfssysteme für den Normalbetrieb eines industriellen Prozesses betrachtet werden. Dabei wird anerkannt, dass sich der zuverlässige Betrieb eines Kühlsystems positiv auf die Zuverlässigkeit des industriellen Prozesses auswirkt. Die Funktion eines Kühlsystems in Bezug auf die Prozesssicherheit gehört jedoch nicht zum Umfang dieses BREF.

Im Rahmen des horizontalen Konzepts bedeutet Integration, dass alle wesentlichen Umweltaspekte und die zwischen ihnen bestehenden Wechselbeziehungen angesprochen werden und gleichzeitig in Rechnung gestellt wird, dass für das Abwägen der einzelnen Aspekte eine Beurteilung durch Sachverständige notwendig ist. Soweit zutreffend, wird auf die Wichtigkeit der Umweltleistung eines Kühlsystems innerhalb der Leistung des gesamten industriellen Prozesses hingewiesen.

Das Dokument befasst sich mit den folgenden Umweltaspekten und Verfahren und Techniken zur Emissionsminderung:

- Auswirkungen der Prozessgestaltung und Systemauslegung sowie von Materialeinsatz und Wartung;
- Betriebsmittelverbrauch (Wasser, Luft, Energie, Chemikalien);
- Emissionen von Chemikalien und Wärme in Wasser und Luft;
- Lärm- und Fahrenemissionen;
- Abfallerzeugung und Emissionen in den Boden und in terrestrische Lebensräume;
- Risikoaspekte;

- Umweltverschmutzung durch besondere Betriebssituationen (Inbetriebnahme/Abschaltung) oder Störungen und
- Stilllegung von Anlagen.

Das vorliegende Dokument gibt einen Überblick über die verfügbaren Techniken für industrielle Kühlsysteme, enthält jedoch keine Wertung dahingehend, welches das beste Kühlsystem ist, und erklärt keines der bestehenden Systeme für untauglich. Es wird auch keine Orientierung zur Frage gegeben, ob ein Prozess überhaupt ein Kühlsystem benötigt. Das heißt, das Dokument befasst sich nicht im Detail mit den eigentlichen Produktionsprozessen, die eine Kühlung erfordern und bei denen Maßnahmen zur Energieeffizienz anzusprechen wären. Es wird ein allgemeines Konzept verfolgt, das zu einer ausgewogenen Auswahl für ein neues System oder Maßnahmen zur Optimierung eines bestehenden Kühlsystems führen soll, wobei das Ziel in der Vermeidung umweltschädlicher Emissionen beim Betrieb von Kühlsystemen besteht.

Glossar

Die für die verschiedenen Aspekte von industriellen Kühlsystemen verwendete Terminologie weicht stark voneinander ab und häufig werden verschiedene Begriffe für den gleichen Bestandteil verwendet. Um Verwirrung und erklärende Wiederholung in diesem Dokument zu vermeiden, liefert dieser Abschnitt eine Reihe von Begriffsdefinitionen und Abkürzungen (englisch und deutsch).

Thermodynamische Definitionen

Abwärme (Waste Heat)	<i>Abwärme</i> ist die inhärente, aber unerwünschte und nicht rückgewinnbare Wärme, die aus den industriellen oder Herstellungsprozessen abgeführt werden muss. Sie muss in die Umwelt abgeleitet werden.
Abwärmemeterniveau (Level of Waste Heat)	Das Temperaturniveau, bei dem die Wärme übertragen werden muss. In Abhängigkeit vom Verfahren wird die Abwärme auf einem spezifischen Temperaturniveau erzeugt.
Auslegungs-Feuchttemperatur (Design Wet Bulb Temperature)	die niedrigste Temperatur, auf die Luft durch adiabatische Verdampfung heruntergekühlt werden kann. Dies ist die relevante Temperatur für die <i>latente Wärmeübertragung</i> . Die <i>Auslegungs-Feuchttemperatur</i> ist die Temperatur der feuchtgesättigten Luft, die für die Auslegung der Abwärmetauscher auf Verdampfungsbasis verwendet wird. Üblicherweise werden 95 %-Werte verwendet – d.h. die Berechnungstemperatur wird in 95 % der Zeit nicht überschritten. Die Feuchttemperatur liegt immer <i>unter</i> der Trockentemperatur.
Auslegungs-Trockentemperatur (Design Dry Bulb Temperature)	die Temperatur der Umgebungsluft, für die ein Wärmestauscher ausgelegt ist. Üblicherweise werden 95 %-Werte verwendet –, d.h. die Auslegungstemperatur wird in 95 % der Zeit nicht überschritten. Die <i>Trockentemperatur</i> ist die relevante Temperatur für die <i>Eigenwärmeübertragung</i> .
Eigenwärmeübertragung (Sensible Heat Transfer)	Die Wärmeübertragung durch Wärmeleitung und –konvektion heißt <i>Eigenwärmeübertragung</i> .
Kühlgrenzabstand (Approach)	<p>(1) in einem Leitungswärmetauscher die Differenz zwischen der Temperatur des Prozessmediums, das den Wärmetauscher verlässt und der Temperatur des Kühlmittels, das in den Wärmetauscher eintritt.</p> <p>(2) in einem Verdampfungssystem (z.B. Nasskühlturm) die Differenz zwischen der Temperatur des Prozessmediums, das den Wärmetauscher verlässt, und der Feuchttemperatur der Luft, die in den Kühlturm oder das Verdampfungskühlsystem eintritt.</p> <p>(3) in einem Kondensator siehe Temperatur-Endgefälle</p>
(Kühl-)Zonenbreite (Range)	Die <i>(Kühl-)Zonenbreite</i> ist die Differenz zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur an einem Wärmetauscher
Latente Wärmeübertragung (Latent Heat Transfer)	Wärmeübertragung durch die Verdampfung von Wasser in die Luft. Eine Wärmeübertragungsleistung bei Verdampfung von Wasser ist viel höher als

bei Kühlung mit Luft.

LMTD
(LMTD)

Die logarithmische, mittlere Temperatur-Differenz ist ein Maß der „Antriebsleistung“ des Wärmetausches und ist abhängig von der Temperatur des kalten Stroms (Kühlmittel) und dem zu kühlenden Prozess-Stroms.

Temperatur-Endgefälle
(Terminal difference)

ist der Temperaturunterschied in einem Kondensator. Es entspricht der Differenz zwischen der Temperatur des in den Kondensator eintretenden Dampfs (oder des kondensierten Dampfs, der den Kondensator verlässt) und der Temperatur des Kühlmittels (Wasser), das den Kondensator verläßt. Die Werte des "Temperatur-Endgefälles" schwanken zwischen 3 und 5 K.

Wärmeemissionsleistung
(Heat Rejection Capacity)

ist die Wärmeleistung, die von einem Kühlsystem, gemessen in kW_{th} (oder MW_{th}) emittiert werden kann.

Sonstige Definitionen

Abfluten (BD, kg/s)
(Blow down (BD, kg/s))

Das beabsichtigte Ableiten aus einem Kühlsystem zum Ausgleich der zunehmenden Konzentration von Feststoffen im Kühlsystem. In der Praxis muss Wasser aus einem Verdampfungskühlsystem abgelassen werden, um den Konzentrationszyklus zu steuern. Es wird berechnet aus $BD = E \cdot 1 / (x - 1)$. Dabei ist E der Verdampfungsverlust und x der Konzentrationsfaktor. Die Berechnung des Abflutens schließt üblicherweise die nicht verdampfungsbedingten Verluste wie Ventilationsverluste, Tropfenauswurf und Leckage ein.

Antrieb mit variabler Drehzahl
(Variable speed drive)

Ein Verfahren, die Drehzahl eines Motors zu steuern, üblicherweise elektronisch mittels eines Inverters. Die Drehzahl kann manuell verändert werden, wird jedoch häufiger über ein Signal aus dem Prozess, z.B. Druck, Strömung, Niveau, etc., gesteuert.

Ausfällungsenthärtung
(Precipitation softening)

Dieser Prozess dient dazu, die Wasserhärte, Alkalinität, Kieselerde und andere Bestandteile zu reduzieren. Das Wasser wird mit Kalk oder einer Mischung aus Kalk und calzinierter Soda (Karbonat Ion) behandelt. Wasser mit einer mäßigen bis hohen Härte (150-500 ppm als $CaCO_3$) wird oft auf diese Weise behandelt.

Beschichtung
(Coatings)

Auf Oberflächen aufgetragene Materialien, um entweder eine reibungsarme Oberfläche zur Reduzierung von Pumpverlusten oder eine Schutzschicht zur Reduzierung von Erosion, Korrosion und Bewuchs zu bilden.

Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB) (auch biologischer Sauerstoffbedarf)
(Biochemical oxygen demand (BOD) (also named Biological oxygen demand))

Eine Maßeinheit des Sauerstoffbedarfs, der benötigt wird, um organische Materialien im Wasser abzubauen. Höhere organische Belastungen erfordern größere Mengen an Sauerstoff und können die für die Fische und das Leben im Wasser benötigte Sauerstoffmenge unter ein akzeptables Niveau verringern. Mit einem genormten 5-Tage Test (BOD_5) oder 7-Tage Test (BOD_7) kann dies beurteilt werden.

Bio-Konzentrationsfaktor
(Bioconcentration factor)

Größe zur Beschreibung der Eigenschaft einer Substanz zur Anreicherung in der Biosphäre, definiert als das Verhältnis zwischen der Konzentration einer Substanz in einem Organismus und ihrer Konzentration im Wasser (in einem Gleichgewichtszustand). Die Bio-Konzentration wird immer experimentell ermittelt.

Bio-Schlick (Bio-slime)	oder Bio-Schlamm wird definiert als der bakterielle Film, der sich auf einem unter Wasser liegendem Substrat entwickelt. Er besteht aus Algen und einer nicht gleitfähigen Mikrobenpopulation, die Schlick erzeugende Bakterien und Sulfat reduzierende anaerobe Bakterien enthält. Mikro-Verschmutzung fördert die Ablagerung von Makro-Verschmutzung.
Biozid (Biocide)	Wirkstoff, der unerwünschte Organismen abtötet oder deren Wachstum verlangsamt. In Kühlwassersystemen tötet ein Biozid Makro- und Mikro-Verschmutzungsorganismen oder verlangsamt deren Wachstum und minimiert damit die organische Verschmutzung im Kühlsystem. Die wichtigsten Biozide sind: Chlor, Natriumhypochlorid, Ozon, quartäre Ammonium- und organische Bromidverbindungen.
Biozidbedarf (Biocide demand)	Die Menge an Biozid, die reduziert oder konvertiert wird in inerte oder weniger aktive Formen des Biozids durch Substanzen im Wasser oder vollständig mit den biozid-reaktiven Materialien reagiert.
BVT-Ansatz (BAT approach)	Die in diesem Dokument vorgelegte Methodologie, um eine Definition von BVT für industrielle Kühlsysteme zu erreichen und innerhalb dieser Definition Techniken zu identifizieren.
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) (Chemical oxygen demand (COD))	Ein Maß der Kapazität von anorganischen und organischen Stoffen, die in Wasser oder Abwasser (abgeleitetes Kühlwasser) vorhanden sind, zum Verbrauch von Sauerstoff; die Sauerstoffmenge, die von einem chemischen Oxidationsmittel in einem spezifischen Test verbraucht wird (bezieht sich normalerweise auf die Analyse mit Dichromat-Oxidation).
Dispersionsstoffe (Dispersion substances)	oder Dispersanten sind Chemikalien, die das Zusammenlagern und die Ablagerung der im Wasser vorhandenen Partikeln verhüten, indem sie die sich aus der Adsorption ergebende elektrische Ladung erhöhen. Als Ergebnis davon stoßen die Partikel einander ab und bleiben in der Schwebel.
Durchbruch (Breakpoint)	Der wegen Verunreinigungen im Wasser erforderliche Bedarf an oxidierenden Bioziden, der überschritten werden muss, ehe eine wirksame Konzentration von Biozid im Kühlwasser zur Verfügung steht.
Frei verfügbares Chlor (FVC) oder freies Restchlor (Free available chlorine (FAC) or free residual chlorine)	Freies Chlor ist eine gleichgewichtige Mischung aus hochchloriger Säure (HClO) und dem Hypochlorit-Ion OCl^- im Kühlwassersystem. Beide sind Oxidantien, aber OCl^- ist weit weniger wirkungsvoll als HClO.
Freies Oxidanz (FO)/ Gesamte Restoxidantien (GRO) (Free oxidant (FO)/ Total residual oxidants (TRO))	Angewandtes Maß für die freien Oxidantien im Abwasser von Kühlwassersystemen. Auch durch GRO oder Gesamtchlor (GC) oder freies Chlor (FC) ausgedrückt.
Gefahrstoffe (Hazardous substances)	Stoffe oder Gruppen von Stoffen, die eine oder mehrere gefährliche Eigenschaften haben, z.B. toxisch, persistent, bio-akkumulativ, oder die nach der EU-Richtlinie 67/548/EWG (Chemikalien-Richtlinie) als gefährlich für Mensch und Umwelt klassifiziert sind.

Gegenstrom (Cross flow)	ist das Prinzip, bei dem die Luft innerhalb des Wärmetauschers in die entgegengesetzte Richtung fließt. In den Gegenstromtürmen bewegt sich die Luft nach oben im Gegensatz zum Abwärtsfließen des Kühlwassers. Diese Auslegung bietet einen guten Wärmeaustausch, da die kühllste Luft mit dem kühllsten Wasser in Berührung kommt. Wasserkammern und Sprühdüsen werden zur Verteilung des Wassers eingesetzt.
Gesamte restliche Oxidantien (GRO) (Total residual oxidants (TRO))	Der im Kühlwassersystem mit der stöchiometrischen Methode (Iodid-Iod) gemessene Oxidantiengehalt. GRO ist numerisch und betrieblich Äquivalent zu GVC und GRC.
Gesamtes verfügbares Chlor (GVC)/ Gesamtes restliches Chlor (GRC) (Total available chlorine (TAC)/ total residual chlorine (TRC))	Die Summe des freien und gebundenen Chlors im Kühlwassersystem, wobei das gebundene Chlor als das verfügbare Chlor in Chloraminen oder anderen Verbindungen eine N-C Bindung hat.
Härtestabilisatoren (Hardness stabilisers)	sind chemische Substanzen, die, dem Wasser beigefügt, in der Lage sind, die Ablagerung von Härtesalzen zu verhindern, indem sie den Kristallisierungsprozess durch die Adsorption der kristallbildenden Keime der Kristalle verhindern. Damit wird das Wachstum von amorphen Kristallen gefördert, die relativ leicht in der Schwebelage gehalten werden können und weniger zu Ablagerungen führen.
Hydraulische Halbwertszeit (Hydraulic half time)	ist definiert als die Zeit, die erforderlich ist, um die anfängliche Konzentration einer nicht abbaubaren Komponente auf 50 % ihrer anfänglichen Konzentration zu reduzieren.
Kondensator (Condenser)	Kühler, der für die Kondensation eines Gasstroms (oder Dampfes) eingesetzt wird. Die Kondensation stellt zusätzliche Anforderungen an den Wärmetauscher: Es muss Platz für das Dampfvolument vorhanden sein. Deshalb sind die Kondensatoren für Kraftwerke extrem groß und eigens dafür ausgelegt.
Konzentrationsfaktor (CR) (Concentration factor (CR))	Konzentrationsfaktor oder Konzentrationszyklen sind das Konzentrationsverhältnis eines bestimmten gelösten Stoffes im umlaufenden Kühlwasser zu dem im Zusatzwasser. Berechnet als $CR = MU/BD$, wobei MU für das Zusatzwasser und BD für das Abfluten steht.
Konzentrationszyklen (Cycles of concentration)	(oder "Zyklen") sind ein Vergleich der Konzentration an aufgelösten Feststoffen in der Abflutung zu der im Zusatzwasser. Daher werden sie definiert als Quotient aus Salzkonzentration in der Abflutung durch Salzkonzentration im Zusatzwasser.
Korrosion (Corrosion)	kann definiert werden als die Zerstörung von Metall durch (elektro-) chemische Reaktion mit seiner Umgebung.
Korrosionsinhibitoren (Corrosion inhibitors)	sind chemische Substanzen, die den Korrosionsprozess im Wasser verlangsamen können. Dies sind Luft entfernende Substanzen, passivierende Inhibitoren (z.B. Chrom, Nitrit, Molybdät und Orthophosphat), ausfällende Inhibitoren (Zinkphosphat, Kalziumkarbonat und Kalziumorthophosphat, und Adsorptionsinhibitoren (Glycinderivate, aliphatische Sulfonate und Natriumsilikat).
Kühlmittel (Coolant)	Synonym für Kühlmedium. In vielen Fällen ist das Kühlmittel Wasser oder Luft. Es kann jedoch auch mit einem Frostschutzmittel versetztes Wasser oder ein Medium wie z.B. Öl oder ein Gas sein.

Makro-Verschmutzung (Macrofouling)	Unerwünschte Organismen in Kühlwasserkreisläufen, die mit dem bloßem Auge zu sehen sind. Makro-Verschmutzung wird hauptsächlich verursacht durch Muscheln, Anwuchs und serpulide Polychäten, die die Wände der Kreisläufe mit ihren kalkartigen Schalen, fadenförmigen Organen wie Hydroiden und anderen Organismen wie Schwämmen, Bryozoen und Tunicatas überkrusten.
Maximal zulässiges Risikoniveau (Maximum allowable risk-level)	Die Konzentration einer Substanz im Oberflächenwasser, bei der 95 % der Spezien geschützt sind. Die Toxizität und die Abbaubarkeit sind wichtige Aspekte.
Mechanisch belüfteter Kühlturm (Mechanical draught tower)	Mit Ventilatoren ausgerüstete Kühltürme, um Kühlluft durch den Turm zu drücken (druckbelüftet) oder um Kühlluft durch den Turm zu ziehen (Saugzug).
Mikro-Verschmutzung (Micro-fouling)	oder Bio-Schlick wird definiert als der Bakterienfilm, der sich auf jedem im Wasser eingetauchten Substrat bildet. Er besteht aus Algen und einer nicht gleitfähigen mikrobiellen Population, die Schlick produzierende Bakterien und anaerobe, Sulfat reduzierende Bakterien enthält. Die Mikro-Verschmutzung fördert die Ablagerung der Makro-Verschmutzung.
Naturzugkühlturm (Natural draught tower)	Große Kühltürme ohne Ventilatoren, aber darauf ausgelegt, die Differenz zwischen der Dichte der in den Turm eindringenden Luft und der wärmeren Luft zur Erzeugung eines Kühlluftstrom auszunutzen.
Nicht oxidierende Biozide (Non-oxidising biocides)	Meist organische Substanzen, die besonders in Kreislauf-Kühlwassersystemen zur Behandlung des Kühlwassers eingesetzt werden. Ihre Wirkung ist spezifischer als die der oxidierenden Biozide. Sie reduzieren einige Spezies wirkungsvoller als andere. Sie verstärken ihre Wirkung auf Mikro-Organismen durch die Reaktion mit spezifischen Zellenkomponenten oder Reaktionen in Stoffwechselzyklen in der Zelle.
Oxidierende Biozide (Oxidising biocides)	meist anorganische Substanzen, die besonders in Durchlaufsystemen gegen die Verschmutzung eingesetzt werden. Sie greifen Organismen über einen unspezifischen Mechanismus an. Das Biozid oxidiert die Zellwände oder dringt in die Zeile ein und oxidiert ihre Komponenten. Diese Biozide wirken schnell und wegen ihrer nicht vorhandenen Spezifität haben sie ein breiteres Spektrum als die nicht oxidierenden Biozide.
Prozessmedium (Process medium)	Als <i>Prozessmedium</i> wird immer das zu kühlende Medium bezeichnet.
Querstrom (Cross flow)	ist das Prinzip, bei dem die Luft senkrecht zur Prozessflüssigkeit im Wärmetauscher fließt. In Querstromtürmen fließt die Luft horizontal durch das abwärts fließende Kühlwasser.
Schalldruckpegel (L_p) (Sound Pressure Level (L_p))	Das Maß für die <u>Immission</u> von Schall – die Druckänderungen durch Schall in einer definierten Richtung und einem definierten Abstand von der Schallquelle. Er wird gemessen in dB (dezi-Bel) pro Frequenz oder von allen und A-gewichtet als dB(A). Das Maß ist logarithmisch, d.h. die Verdopplung des Schalldruckpegels entspricht einer Steigerung von 6 dB(A).

Schalleistungspegel (L_w) (Sound Power Level (L_w))	Das Maß für eine Leistung in Form von Schall, die von einer Schallquelle <u>abgestrahlt</u> (emittiert) wird. Er wird gemessen in dB (dezi-Bel) pro Frequenz oder von allen und A-gewichtet als dB(A). Das Maß ist logarithmisch, d.h. die Verdopplung des Schalleistungspegels entspricht einer Steigerung von 3 dB(A).
Schwaden (Plume)	ist die sichtbare Rückkondensierung von verdunstetem Wasser in der Abluft eines Kühlturms.
Sprühverlust (Drift loss)	Wasserverlust verursacht durch kleine Tröpfchen, die mit der Luft emittiert werden und den Kühlturm an der Oberseite verlassen.
Tropfenabscheider (Drift eliminators)	Geräte, die die Richtung des Luftstroms ändern. Sie vermitteln Zentrifugalkraft, um die Wassertröpfchen von der Luft zu trennen.
Verdunstungsverlust (E, kg/s) (Evaporative loss (E , kg/s))	Die Masse des Kühlwassers, die während einer Zeiteinheit während des Betriebs eines Verdunstungskühlsystems verdunstet wird.
Verkrustung (Scaling)	Der Ablagerungsprozess in Kühlwassersystemen, der dann auftritt, wenn die Salzkonzentration im Wasserfilm in der Nähe des Wärmetauschers die Löslichkeit übersteigt.
Zusatz (Z, kg/s) (Make up (M , kg/s))	ist definiert als die Wassermenge pro Zeiteinheit, die dem System zugeführt wird, um den Wasserverlust auszugleichen, der durch Verdunstung und Abfluten entstand.

Abkürzungen und Kurzbezeichnungen

Abk./ Akronym	Abbrev./ acronym (engl.)	Erklärung	Seitenzahl
AOX	AOX	Absorbierbare organische Halogene (X = Cl, Br)	98
ATP	ATP	Adenosintriphosphat	103
AVF	VFD	Antrieb mit variabler Frequenz	290
BAM	BPM	Beste anwendbare Möglichkeit	108
BCDMH	BCDMH	Bromchlor-Dimethylhydantoin	212
BKF	BCF	Biokonzentrationsfaktor	245
BNPD	BNPD	Bromnitropropaandiol	130
BNS	BNS	β -Brom- β -nitrostyren	98
BREF	BREF	BVT-Referenzdokument	5
BSB	BOD	Biochemischer Sauerstoffbedarf (auch biologischer Sauerstoffbedarf)	23
BTM	BTM	Beste technische Möglichkeit	108
BVT	BAT	Beste verfügbare Techniken	1
CSB	COD	Chemischer Sauerstoffbedarf	23
DBNPA	DBNPA	Dibromo-Nitrilpropionamid	95
DPD	DPD	N-N-Diethyl-p-phenylenediamin	103
EDF	EDF	Electricité de France	36
EIPPCB	EIPPCB	European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (Europäisches Büro für integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)	3
EOX	EOX	Extrahierbare organische Halogene (X= Cl, Br)	278
EUK	PEC	Erwartete Umweltkonzentration	15
EUR od. €	EUR or €	Euro, Europäische Währungseinheit	10, 48
FO	FO	Freies Oxidanz	11
FRO	FRO	Freies Restoxidanz	15
FVC	FAC	Frei verfügbares Chlor	24
GAF	TDS	Gesamte gelöste Feststoffe	263
GOK	TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff	221
GRO	TRO	Gesamtes Restoxidanz	24
IEF	IEF	Informationsaustauschforum	2
KBE	CFU	Koloniebildende/keimbildende Einheiten	154
KKA	CCA	Kupfersulfat, Kaliumdichromat, Arsenpentoxid	132
KWS	CWS	Kühlwassersystem	26
kW _{th} od. kW _e	kW _{th} or kW _e	1000 Watt (thermisch oder elektrisch)	9
LK	LD	Legionärskrankheit	128
LKK	ACC	Luftgekühlter Kondensator	304
<i>Lp</i>	<i>Lp</i>	<i>Legionella pneumophila</i>	128
MBT	MBT	Methylen(bis)thiocyanat	98
mg/l	mg/l	Milligramm pro Liter	15
MIC	MIC	Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion	205
Mt od. Mt	Mt or Mt	Metrische Tonne (1 000 kg)	188
MWS	mwg	Meter Wassersäule (9,806 kPa)	82
MW _{th} od. MW _e	MW _{th} or MW _e	1000000 Watt (thermisch oder elektrisch)	8
<i>Nf</i>	<i>Nf</i>	<i>Naegleria fowleri</i>	128
NOEC	NOEC	NOEL-Schwelle	82
PHMB	PHMB	Polyhexamethylenbiguanidchlorid (QAC)	130
PNEC	PNEC	Konzentration, bei der keine Wirkung auf die Umwelt zu erwarten ist.	15
P _{ow}	P _{ow}	Nernstscher Verteilungskoeffizient für die Phasen n-Oktanol und Wasser	108
ppm	ppm	Teile pro Million	26
QAV	QAC	Quartäre Ammoniumverbindungen	130
RIZA	RIZA	Niederländisches Wasserwirtschaftsinstitut für die Binnenwasserwirtschaft und Abwasserreinigung	155
SAZ	QSARs	Quantitative Struktur-Aktivitätsbeziehung	245
TAG	TWG	Technische Arbeitsgruppe	17

TBTO	TBTO	Tributylzinnoxid	105
TEMA	TEMA	Tubular Exchange Manufacturers Association	194
THM	THM	Trihalomethane	211
UQS	EQS	Umweltqualitätsstandard	10
UV	UV	Ultraviolettes Licht	95
VCI	VCI	Verband der chemischen Industrie in Deutschland	14
VDI	VDI	Verband Deutscher Ingenieure	118
WFD	WFD	Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG vom 23. Oktober 2000 (Abl. L. 327 v. 22.12.2000 S. 1) (Bei Erstellung des BREF noch im Entwurf)	144

Thermodynamic definitions

Approach	<p>(1) in a conduction heat exchanger device, the temperature difference between the temperature of the process medium leaving the heat exchanger and the temperature of the cooling medium entering the heat exchanger.</p> <p>(2) in an evaporative system (e.g. wet cooling tower), the difference between the temperature of the process medium leaving the cooling system and the wet bulb temperature of the air entering the cooling tower or the evaporative cooling system.</p> <p>(3) in a condenser see terminal difference.</p>
Design Dry Bulb Temperature	the temperature of the ambient air for which the heat exchanger is designed. Usually 95 % values are used – the design temperature will not be exceeded in 95 % of time. <i>Dry bulb temperature</i> is the relevant temperature for <i>sensible heat transfer</i> .
Design Wet Bulb Temperature	the lowest temperature, to which air can be cooled down by adiabatic evaporation. It is the relevant temperature for <i>latent heat transfer</i> . <i>Design wet bulb temperature</i> is the temperature of saturated air, which will be used for the design of the evaporative waste heat exchanger. Usually 95 % values are used – the design temperature will not be exceeded in 95 % of time. Wet bulb temperature is always <i>below</i> dry bulb temperature.
Heat Rejection Capacity	the amount of heat, which can be rejected by a cooling system measured in kW _{th} (or MW _{th}).
Latent Heat Transfer	Heat transfer through the evaporation of water into the air. The heat transfer capacity of evaporating water is much higher than the heat transfer capacity of air.
Level of Waste Heat	the temperature level at which the heat has to be transferred. Depending on the process, the waste heat is generated at a specific temperature level.
LMTD	Logarithmic mean temperature difference is a measure of the driving force of the heat exchange depending on the temperature of the cold stream (coolant) and of the process stream to be cooled.
Range	<i>Range</i> is the difference between the inlet and the outlet temperature at a heat exchanger.
Sensible Heat Transfer	Heat transfer through conduction and convection is called <i>sensible heat transfer</i> .
Terminal difference	is the temperature difference in a condenser. It corresponds to the temperature difference between the temperature of the steam entering the condenser (or steam condensed leaving the condenser) and the temperature of the cooling medium (water) leaving the condenser. The values of “terminal difference” vary between 3 and 5 K.
Waste Heat	<i>Waste heat</i> is the inherent, yet unwanted, not recuperative heat, that must be removed from industrial or manufacturing processes and has to be transferred to the environment.

Other definitions

BAT approach	methodology presented in this document to arrive at a definition of BAT for industrial cooling systems and to identify techniques within this definition
Bioconcentration factor	the capacity of a substance to bioaccumulate defined as the ration between the concentration of a substance in an organism and its concentration in the water (in a state of equilibrium). The bioconcentration is always determined by experiment.
Blow down (BD, kg/s)	the intentional draining of a cooling system to balance the increasing concentration of solids in the cooling system and in practice it is the water that has to be withdrawn from an evaporative cooling system in order to control the cycle of concentration. It is calculated as $BD = E \cdot 1/(x-1)$, where E is the evaporation loss and x is the concentration factor. Calculating the blowdown usually includes the non-evaporative losses such as windage, drift and leakage.
Biocide	chemical that kills or slows down the growth of undesirable organisms. In cooling water systems a biocide kills or slows down the growth of macro- and micro-fouling organisms, thereby minimising organic pollution in the cooling system. The most important biocides are: chlorine, sodium hypochlorite, ozone, quaternary ammonium and organic bromide.
Biocide demand	the quantity of biocide that is reduced or converted to inert or less active forms of the biocide by substances in the water or the quantity of biocide that give complete reaction with all biocide-reactable materials.
Biochemical oxygen demand (BOD) (also named Biological oxygen demand)	a measure of the oxygen required to break down organic materials in water. Higher organic loads require larger amounts of oxygen and may reduce the amount of oxygen available for fish and aquatic life below acceptable levels. It can be assessed using a standard 5-day (BOD_5) or 7-day (BOD_7) test.
Bio-slime	or bio-slime is defined as the bacterial film that develops on any substrate immersed in water. It consists of algae and sessile microbial population, comprising slime producing bacteria and anaerobic sulphate reducing bacteria. Microfouling promotes the deposition of macrofouling.
Breakpoint	the demand of oxidizing biocide by water impurities which must be overcome before a viable biocide-concentration in the cooling water is available.
Chemical oxygen demand (COD)	a measure of the oxygen-consuming capacity of inorganic and organic matter present in water or waste (discharged cooling) water; the amount of oxygen consumed from a chemical oxidant in a specific test. (normally referring to analysis with dichromate oxidation)

Coatings	materials applied to surfaces to form either a low friction surface to reduce pump losses, or a protective layer to reduce erosion, corrosion and fouling.
Concentration factor (CR)	concentration factor or cycles of concentration is the ratio of concentration of any particular solute in the recirculating cooling water to that in the makeup water. Calculated as $CR = MU/BD$, where MU is the make up water and BD the blow down.
Condenser	cooler used for condensation of a gas flow (or steam). Condensation places extra demands on the heat exchanger: there must be space for the vapour volume. Condensers of power stations are therefore extremely large and specifically designed.
Coolant	synonym for cooling medium. In many cases the coolant is water or air, but can also be water mixed with an antifreeze substance or a medium such as oil or a gas.
Corrosion	can be defined as the destruction of a metal by (electro-) chemical reaction with its environment.
Corrosion inhibitors	are chemical substances that are able to slow down the corrosion process in water. They are de-aeration substances, passivating inhibitors (eg chromate, nitrite, molybdate, and orthophosphate), precipitating inhibitors (zinc phosphate, calcium carbonate and calcium orthophosphate), and adsorption inhibitors (glycine derivatives, aliphatic sulfonates and sodium silicate).
Counter flow	is the principle where the air flows in the opposite direction within the heat exchanger. In counter flow towers air moves upward opposed to the downward flow of the cooling water. This design provides good heat exchange because the coolest air contacts the coolest water. Headers and spray nozzles are used to distribute the water.
Cross flow	is the principle where air flows perpendicular to the process fluid within the heat exchanger. In cross flow towers air flows horizontally across the downward stream of the cooling water.
Cycles of concentration	(or “cycles”) are a comparison of the dissolved solids level of the blowdown with that of the makeup water. Thus, it is defined as quotient of salt concentration in the blow-down and the salt concentration in the make-up.
Dispersion substances	or dispersants are chemicals that prevent the growth and deposit of particles present in water by increasing the electric charge resulting from absorption. As a result the particles repel each other and remain suspended.
Drift eliminators	devices that change the direction of airflow, imparting centrifugal force to separate water droplets from the air.
Drift loss	the loss of water due to small droplets, which are emitted into the draught air, leaving the top of a cooling tower.
Evaporative loss (E, kg/s)	the mass of cooling water, which is evaporated per time unit during the operation of an evaporative cooling-system.

Free oxidant (FO)/ Total residual oxidants (TRO)	applied measure of free oxidants in the discharge of cooling water systems. Also referred to as TRO or total chlorine (TC) or free chlorine (FC).
Free available chlorine (FAC) or free residual chlorine	free chlorine represents an equilibrium mixture of hypochlorous acid and hypochlorite ion OCl^- in the cooling water system. Both are oxidants, but OCl^- is far less effective than HOCl .
Hardness stabilisers	are chemical substances, which, added to water, are able to prevent the deposit of hardness salts by hindering the crystallisation process through absorption of the nucleation nuclei of the crystals. In this way the growth of amorphous crystals, which are relatively easy to keep in suspension and give less cause to deposits, is encouraged.
Hazardous substances	substances or groups of substances, that have one or several dangerous properties, such as toxic, persistent, bioaccumulative, or are classified as dangerous for the human or environment according to the Directive 67/548 (Dangerous substances directive).
Macrofouling	undesirable organisms in cooling water circuits, which are visible with the naked eye. Macrofouling is represented mainly by mussels, barnacles, and serpulid polychaetes that encrust the walls of the circuits with their calcareous walls, filamentous organisms such as hydroids, and other organisms such as sponges, bryozoans, and tunicates.
Make up (M, kg/s)	is defined as all water mass per time unit, which is added to the system to compensate the loss of water due to evaporation and blow down.
Maximum allowable risk-level	the concentration of a substance in surface water where 95% of the species are protected. The toxicity and degradability are important aspects.
Mechanical draught tower	cooling towers equipped with fans to push cooling air through the tower (forced draught) or to pull cooling air through the tower (induced draught).
Micro-fouling	or bio-slime is defined as the bacterial film that develops on any substrate immersed in water. It consists of algae and sessile microbial population, comprising slime producing bacteria and anaerobic sulphate reducing bacteria. Microfouling promotes the deposition of macrofouling.
Natural draught tower	large size cooling towers without fans, but designed to take advantage of the density difference between air entering the tower and the warmer air inside the tower to create a flow of cooling air.
Non-oxidising biocides	mostly organic substances used for cooling water treatment particularly in recirculating cooling systems. Their working is more specific than that of oxidising biocides oxidising some species more effectively than others. They exert their effects on micro-organisms by reaction with specific cell components or reaction pathways in the cell.

Oxidising biocides	mostly inorganic substances particularly applied in open once-through systems against fouling. They attack organisms via a non-specific mechanism. The biocide oxidises the cell wall or enters the cell and oxidises the cell components. These biocides are fast working and because of their non-specificity have a broader spectrum than the non-oxidising biocides.
Plume	is the visible re-condensation of evaporated water in the discharged air of a cooling tower.
Precipitation softening	this process is used to reduce water-hardness, alkalinity, silica, and other constituents. The water is treated with lime or a combination of lime and soda ash (carbonate ion). Water with moderate to high hardness (150-500 ppm as CaCO ₃) is often treated in this fashion.
Process medium	the <i>process medium</i> will always refer to the medium to be cooled.
Scaling	process of precipitation in CWS that occurs when the concentration of salts in the water film near the heat exchanger exceeds the solubility.
Sound Pressure Level (L_p)	the measure for the <u>immission</u> of sound – the amount of sound at a defined direction and distance from the sound source. It is measured in dB per frequency band or A weighted as dB(A). The measure is logarithmic, this means that doubling the sound pressure level is equal to an increase 6 dB(A).
Sound Power Level (L_w)	the measure for the amount of sound-energy, which is <u>radiated</u> (emitted) from a sound source. It measured in dB per frequency band or A weighted as dB(A). The measure is logarithmic, which means that doubling the sound power level is equal to an increase of 3 dB(A).
Hydraulic half time	is defined as the time needed to reduce the initial concentration of a non-degradable compound to 50% of its initial concentration.
Total available chlorine (TAC)/ total residual chlorine (TRC)	the sum of free chlorine and combined chlorine, with combined chlorine as the available chlorine in chloramines or other compounds having a N-C link, in cooling water system.
Total residual oxidants (TRO)	oxidant capacity measured in cooling water system via stoichiometric method (iodide.iodine). TRO is numerical and operational equivalent to TRC and TAC.
Variable speed drive	a way of controlling the speed of a motor, usually electronically using an inverter. The speed can be varied manually, but is more often controlled via a signal from the process, e.g. pressure, flow, level, etc.

1 GENERAL BAT CONCEPT FOR INDUSTRIAL COOLING SYSTEMS

In numerous industrial processes, heat has to be removed by what is called a waste heat removal system or cooling system. Operating these cooling systems has certain environmental consequences. The level and character of the environmental impact varies depending on the cooling principle and the way these systems are operated. To minimise this impact an “approach” can be followed which aims at prevention of emissions by proper design and selection of techniques.

Within the framework of IPPC, cooling should be considered as an integrated part of the overall energy management of an industrial process. The intention should be to reuse superfluous heat of one process in other parts of the same process or in different processes on site in order to minimise the need for discharge of waste heat into the environment. This will affect the overall energy efficiency of a process and reduce the demand for cooling, for the required capacity of the system and for its operational demands. The optimisation of energy efficiency, however, is a complex exercise and regarded as highly process-specific and as such beyond the scope of this horizontal document. If there are no options for reuse on-site, this does not have to lead automatically to discharge of heat into the environment, but options for reuse off-site in industrial or civil applications may be considered. In the end, if options for reuse of heat cannot be exploited any further, discharge of superfluous heat into the environment is to be considered.

Once the level of heat to be removed has been assessed, a first selection of the appropriate system for cooling can be decided upon. Much of the environmental performance due to the operation of a cooling system can be influenced by proper design and by selection of the right material taking into account the process requirements and local aspects. It is reported that 80% of cooling system performance has already been determined at the design table and 20% by the way the cooling system is operated (so-called 80/20 rule). Many different factors need balancing in assessing what is BAT (best available techniques) for the reduction of the environmental impact of cooling. Right from the start it is important to realise that a cooling system is an auxiliary, but generally crucial and integrated system for an industrial process and that every change applied to the process of cooling may potentially affect the performance of the industrial or manufacturing process to be cooled.

Therefore, the integrated assessment of the consumption and emissions of cooling systems and the decision on the application of a cooling technique both should be made in the light of the total environmental performance of the plant and within the requirements of the process to be cooled, ultimately balanced with costs. The required level of cooling must be guaranteed, with minimal consequences for the environment. The required level of cooling is process-specific. Where some processes can tolerate a certain temporary rise in process temperature, other more temperature sensitive processes might not, as this will have a large impact on the environmental performance of the whole plant.

According to IPPC, the environmental performance of the cooling systems discussed in this BREF must be improved by applying BAT. The question is if and how BAT for cooling systems can be determined in a general sense, where the final determination on what is best is certainly a local matter answering the specific requirements of process, environment and economics. To structure and in some way simplify the complex process of determination of BAT, this document follows the “approach” described above and presented in Figure 1.1. This “approach” should lead to a balanced decision on the application of a system for cooling and on its optimisation based on BAT for both new and existing situations.

The BAT concept consists of the following steps aiming at reduction of emissions and minimisation of the environmental impact:

- reduce the final level of waste heat produced, considering options for reuse;
- define process requirements;
- consider general site conditions;
- assess environmental requirements:
 - options for minimisation of resource consumption
 - options for reduction of emissions
- develop system operation (maintenance, monitoring and risk prevention)
- apply economic requirements

In Figure 1.1, the BAT “approach” is presented in a schematic way showing the most relevant factors involved in the determination of BAT for industrial cooling systems. For the sake of clarity not all links that can possibly be made between different aspects of cooling have been added in this scheme. For example, there is a link between sound attenuation measures and the reduction of specific direct energy consumption; and the achievable minimum end temperature of a cooling system is limited by the local climatic conditions.

In the following sections the BAT “approach” will be further discussed in the light of common principles of operating industrial cooling systems and, where possible, indicating what the application of BAT means in the spirit of the IPPC-Directive. By its nature, this optimisation cannot be an exact mathematical comparison of various solutions. The optimisation process includes a similar challenge for all environmental balances, as it requires a comparison of different environmental impacts and a decision about which ones are the least severe or most acceptable. Nevertheless, the suggested BAT “approach” aims at providing significant information on the implications of various solutions for the environment, on costs and risks as well as the influencing factors. Based on this information, a decision can be made which is much more justified than just concentrating on optimising one single factor (e.g. water intake, energy consumption, plume or noise emission etc.).

Examples will be given to indicate the direction of the changes, rather than to specify particular emissions or reductions. Where appropriate, data are shown or reference is made to the annexes, but for most of the factors involved, data on resource use and on emissions of cooling systems are either limited or they are too specific to be generally applicable.

Summarising, the assessment of a cooling system, balancing the different factors, is founded on the following points:

- the requirements of the process to be cooled take precedence over the measures for reduction of the environmental impact of a cooling system;
- applying the BAT “approach” is not aiming at a disqualification of any of the configurations described in Chapter 2;
- the BAT “approach” has more freedom for optimisation and prevention of emissions in the design phase in case of new installations, but for existing installations design options should also be considered;
- consequently, for existing plants it is expected that the BAT “approach” will start further down in the consecutive assessment steps;
- a further distinction can be made between large custom-made cooling systems and smaller systems (series product) with respect to the level of environmental impact;
- optimisation should be seen as the application of design options, of reduction techniques and of good operator practice;
- the level of reduction of emissions resulting from the BAT “approach” is not predictable, but depends on the demands placed on the cooling system;
- the BAT “approach” aims at cooling system operation balancing the requirements by the process to be cooled and by the local environmental objectives;
- selection schemes are useful in making a balanced choice and
- finally each balanced result will have a certain environmental impact.

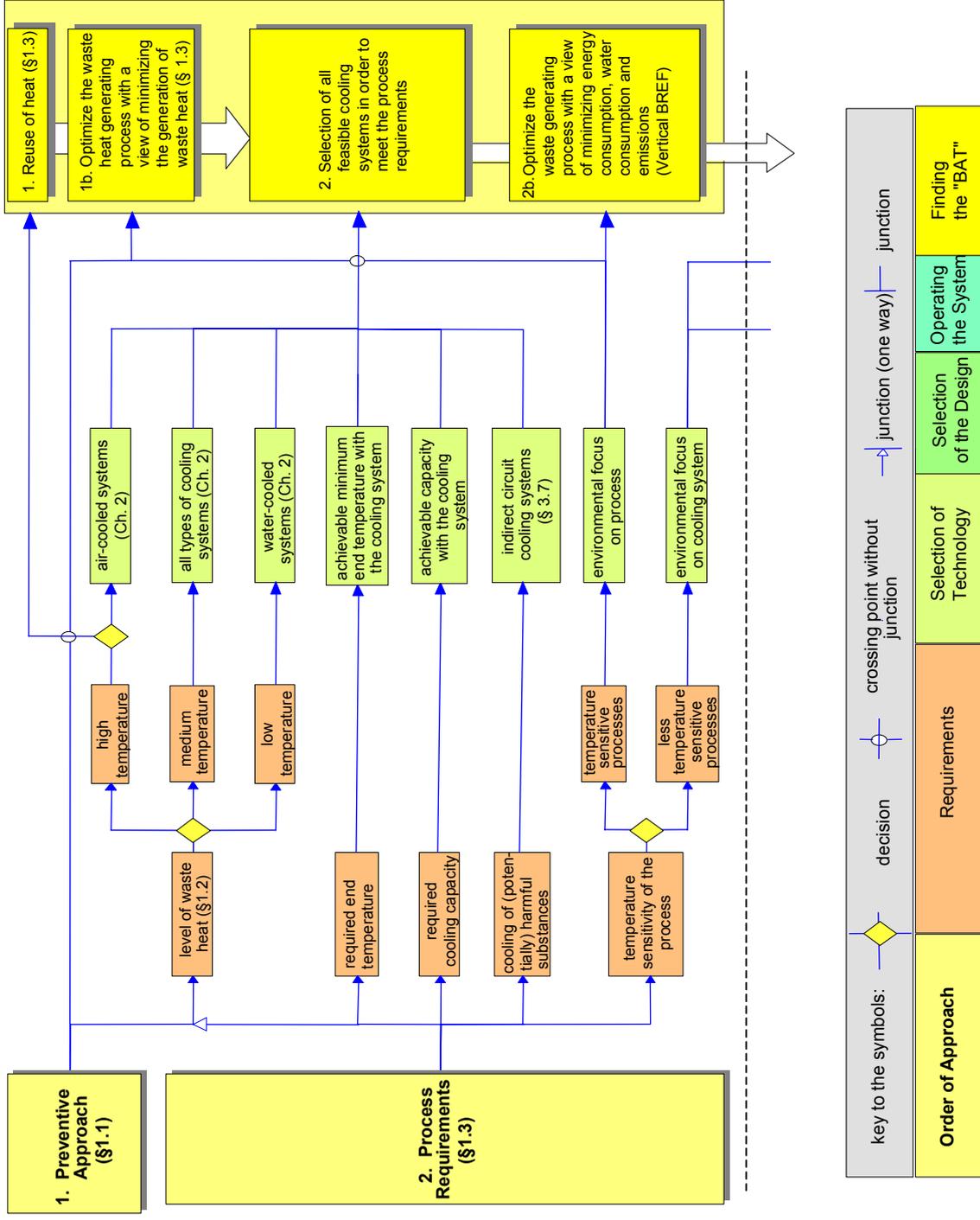


Figure 1.1: Breakdown structure showing the factors involved in the determination of BAT for waste heat discharge systems [tm134, Eurovent, 1998]

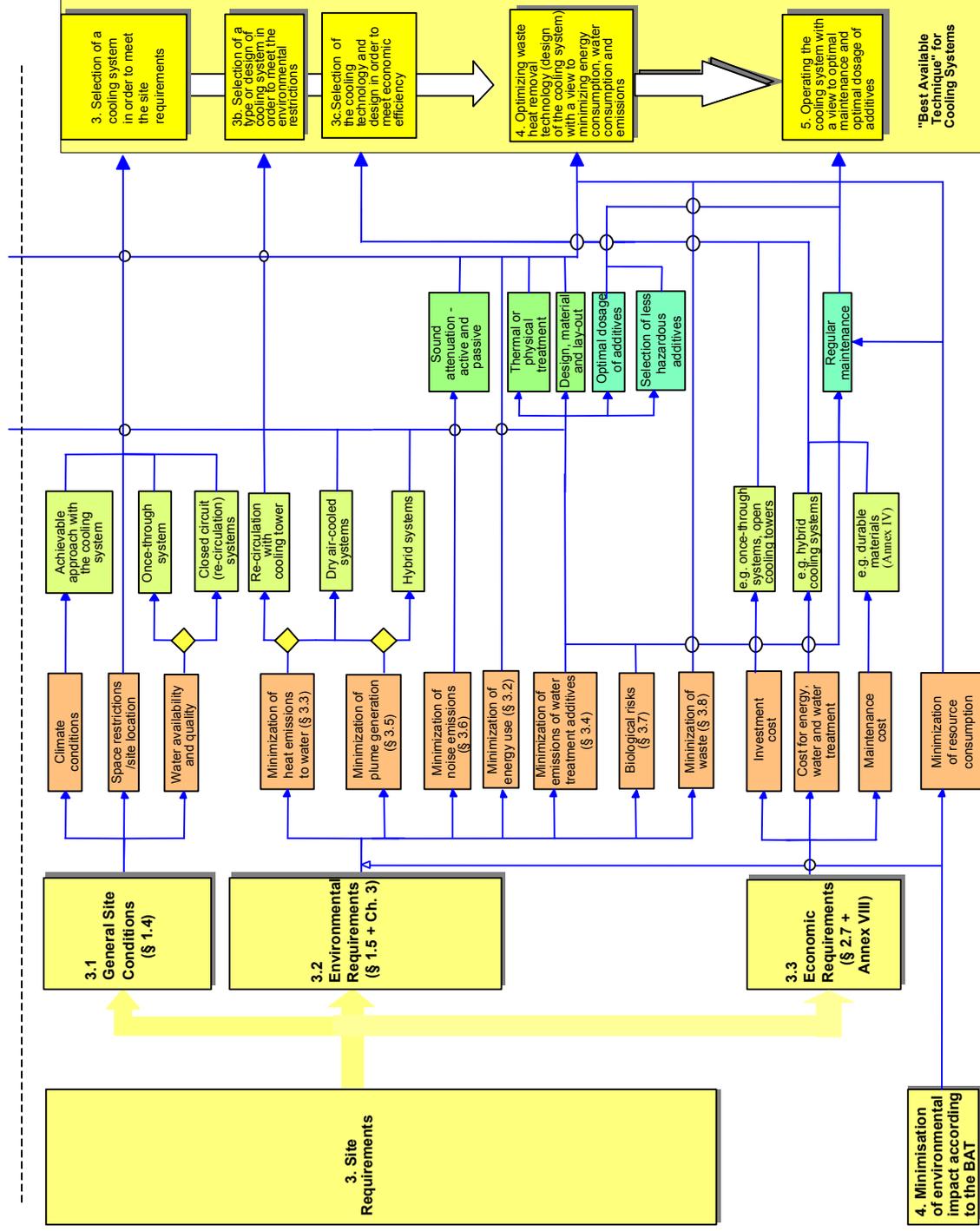


Figure 1.1: (continued): Breakdown structure showing the factors involved in the determination of BAT for waste heat discharge systems [tm134, Eurovent, 1998]

1.1 Sources of heat, heat levels and application ranges

All industrial and manufacturing processes which use energy transform different forms of energy (mechanical, chemical, electrical etc.) into heat and noise. Depending on the process, this heat cannot always be fully recovered and/or re-used, but has to be removed from the process by cooling. The amount of non-recoverable heat can be called waste heat, and it needs to be transferred to the environment, as this serves as a heat sink. A number of processes with a specifically high production of waste heat and a high demand for cooling are mentioned below. In many processes different sources of waste heat exist and at different levels: high (above 60 °C), medium (25-60°C), and low (10-25°C). Also, different processes with their specific demand can be found within the same production site. Large cooling systems are used for large combustion plants (power industry), in the chemical industry, refineries, the iron and steel industry, the food industry, the pulp and integrated paper industry, incinerators and in the glass industry.

Within a similar process cooling is applied for different purposes such as cooling of process substances in a heat exchanger, of pumps and compressors, of vacuum systems and of steam turbine condensers. The following major sources of waste heat can be distinguished with their related levels of waste heat.

- Friction - by definition the transformation of mechanical energy into heat. Cooling systems for these processes are usually indirect systems with oil as a primary coolant. Because oil is used as a cooling medium, the cooling system is sensitive to high temperatures. Therefore, the average temperature of the waste heat is at medium level.
- Combustion - the transformation of chemical energy by oxidation into heat. The waste heat level of combustion processes is variable.
- Exothermic Processes (chemical) - Many chemical processes are exothermic: chemical energy is transformed into heat without any combustion. Exothermic processes are often very sensitive to the efficiency of the removal of waste heat. The temperature level of the waste heat is medium to high, depending on the process.
- Compression - compressing a gas leads to the generation of heat. This heat usually has to be removed as waste heat at a medium to high temperature level.
- Condensation (thermodynamic cycles) - Many processes work on the principles of thermodynamic cycles. A liquid medium is evaporated, taking up energy, and is consequently condensed, transforming rejected energy as heat. Thermodynamic systems are very sensitive to temperature and the temperature level is medium to low.

The waste heat level is an important factor to be taken into account when selecting an industrial cooling system. Table 1.1 shows the temperature ranges of the medium to be cooled and the most suitable cooling systems. The lower the waste heat level, the more difficult it is to cool with dry air-cooled systems. In practice, air-cooling is often used for process temperatures above about 60°C. Heat levels above 100°C are generally pre-cooled with air-coolers if no options for reuse are available. Evaporative cooling is, in principle, often used to cool process flows with medium and low temperatures. For low temperatures also once-through systems are used, especially where large capacities are needed.

The ranges should not be taken as fixed when selecting a cooling system. For the high temperature range 50°C as well as the above-mentioned 60°C is being used. Also, temperatures depend largely on the local situation (climate and temperature of the coolant) and the potential application of a system will vary accordingly. So, once-through systems are also applied at higher temperature levels, provided that admissible discharge temperatures at the outlet into the receiving water will not be exceeded. For processes to be operated throughout the year under varying climatic conditions it can also be necessary to use a combination of different cooling systems.

Table 1.1: Heat temperature levels and application range
[tm139, Eurovent, 1998]

Temperature range	Suitable Cooling System	Typical Applications
Low temperature (10 – 25 °C)	<ul style="list-style-type: none"> once-through systems (direct/indirect) wet cooling towers (mechanical/natural draught) hybrid cooling towers combined cooling systems 	<ul style="list-style-type: none"> power generation (petro-) chemical processes
Medium temperature (25 – 60 °C)	<ul style="list-style-type: none"> once-through systems (direct/indirect) wet cooling towers (mechanical/natural draught) closed circuit cooling towers evaporative condensers air-cooled fluid coolers air-cooled condensers hybrid cooling towers/ condensers hybrid closed circuit cooling tower 	<ul style="list-style-type: none"> refrigeration cycles compressor cooling of machines autoclave cooling cooling of rotary kilns steel plants cement plants power generation in warmer regions (Mediterranean)
High Temperature (above 60 °C)	<ul style="list-style-type: none"> once-through systems (direct/indirect) in special cases wet cooling towers (mechanical/natural draught) air-cooled fluid cooler/ condensers 	<ul style="list-style-type: none"> waste incineration plants engine cooling cooling of exhaust fumes chemical processes

1.2 Level of cooling system and influence on process efficiency

1.2.1 Temperature sensitive applications

Many chemical and industrial processes are temperature critical applications. The efficiency of the process is sensitive to temperature and/or pressure and therefore correlated with the efficiency of the removal of waste heat. For these processes, the horizontal “approach” of best available cooling technology is connected with the vertical “approach” of best available process technology. Examples for temperature critical applications are:

- power generation,
- thermodynamic cycles,
- exothermic processes.

Integrated pollution prevention means that selection of best available cooling technology and application of techniques, of treatments or ways of operating should consider not only the direct environmental impacts of the different cooling systems, but also the indirect environmental impacts due to varying efficiencies of the different processes. It has to be decided at local level whether should be pursued by focussing on the cooling system rather than on the production process. The increase of the indirect impacts can be considerably higher than the decrease of direct impacts of the selected cooling system.

Power plants (see Annex XII) are the most important source of waste heat. The transformation of fossil energy into electrical energy is connected with many of the waste heat generating processes mentioned in Section 1.1. Waste heat is generated during combustion, friction of the turbine, condensation of the steam and transformation of the electricity. A separate cooling water system, for the auxiliary systems using oil or gas for smooth operation of equipment, also generates a small amount of waste heat. If the cooling requirement of the power generating system cannot be met, it immediately shows in a decrease of the overall efficiency and in an increase of air emissions.

This correlation is illustrated by the following example for a power plant, in which an alternative, presumably less effective, cooling system leads to a loss in efficiency of the power plant of about 3% (Table 1.2). As a result the resource input of the power plant and its emissions to air will also increase with about 3%. As the emissions also depend on the fuel used, they could easily be different in another situation, but no data were available to evaluate this point further.

Table 1.2: Emissions of an average Western European power plant due to an efficiency loss of 3% [tm139, Eurovent, 1998]

Emissions to air	Emissions / energy input in [g/kWh]	Additional emission due to a loss of 3% efficiency [g/kWh]
CO ₂	485	14.6
SO ₂	2.4	0.072
NO _x	1.0	0.031
Dust	0.2	0.006
Primary energy input: 2.65 kW and additional energy input 0.08 kW		

How the selection of a cooling system can affect the performance is well illustrated by the following examples taken from Caudron [tm056, Caudron, 1991]. These figures highlight the effects of the selection of a cooling system under the given climate conditions. So care must be taken, as the loss of efficiency that can occur depends on the choice of the cooling system, the climatic conditions and the design of the turbine. Condenser vacuums (condenser pressures) will vary accordingly as illustrated in the following tables. In areas where higher ambient temperatures occur, the vacuum levels are higher with dry systems and can reach up to 425 mbar. But many other factors, such as fouling, scaling, corrosion and sub-optimal design, may lead to similar losses of efficiency.

Table 1.3: Relative effect on the delivery of electrical power due to the application of wet, wet/dry or dry cooling towers to units of 1300 MW_e.

Type of refrigeration system			Wet cooling tower		Wet/dry cooling tower	Dry cooling tower	
	Once-through	Wet natural draught	Natural draught	Induced draught	Induced draught	Natural draught	Induced draught
Approach K (dry air 11[°C] / wet air 9[°C])	-	12	12.5	12.5	13.5	16	17
Nominal condensation pressure (mbar)	44	68	63	63	66	82	80
Thermal power (MW _{th})	1810	1823	2458	-	-	-	-
Electrical power Delivered (MWe)	955	937	1285	1275	1275	1260	1240
Difference of electrical power delivered (%)	+ 1.9	0	0	- 0.8	- 0.8	- 2	- 3.5

In the table the once-through system is taken as starting point to benchmark the other systems. The approaches of the recirculating cooling systems are additional to the approach of the heat exchanger (condenser) which is assumed to be equal for all systems.

From this table it is clear that the choice of cooling system, such as for a dry instead of a wet system, needs careful consideration. The table also shows why many power plants are located preferably on the coast or on large rivers. From the production point of view, once-through systems are more efficient than the reference system (wet natural draught).

For combined cycles, the condenser pressure and electrical power delivered vary similarly with the type of the cooling system and the relative loss of power becomes even more clear.

Table 1.4: Relative effect on the delivery of electrical power due to the application of wet, wet/dry or dry cooling towers to a 290 MW_{th} combined cycle unit [EDF, pers. comm., 1999]

Type of cooling system	Wet cooling tower			Air-cooled condenser
	Once-through	Natural draught	Induced draught	
Approach K (dry air 11[°C]/wet air 9[°C])	/	≈8	≈8	≈29
Nominal condensation pressure (mbar)	34	44	44	74
Thermal power (MW _{th})	290	290	290	290
Difference of electrical power delivered (MW_e)	+ 0.65	0	-1.05	-5.65

1.2.2 Non-sensitive applications

Other applications are less sensitive to temperature. The efficiency of these processes is less correlated with temperature or pressure. For these processes the focus should be on the economically and ecologically most efficient cooling system to dissipate waste heat that remains after all the possible options for reuse have been exploited.

1.3 Optimising the primary process and reuse of heat

Optimisation of the overall energy efficiency of the primary process will not be dealt with in depth in this reference document. However, in the preventive “approach” of IPPC this optimisation should be done first before removal of waste heat is contemplated. In other words, the need for heat discharge has to be minimised, which will simultaneously affect the configuration and size of the required cooling system. Furthermore, the cooling system does not necessarily mean discharge into the environment, as successful attempts have been made to use this energy as well.

1.3.1 Optimising the primary process

The optimisation of the primary process can significantly reduce the overall environmental effects. In many Member States the majority of the non-recoverable heat to be disposed of by cooling systems is due to power generation. Depending on the overall efficiency, up to 60 % of the fuel energy is transferred into waste heat. If the efficiency of the power generating process is increased, environmental effects can be reduced and the cooling system plays a crucial role here. For other industrial sectors this principle can be applied as well, at the same time lowering the energy costs, the amount of heat discharged to the environment, as well as the emissions to air (CO₂). Generally, the higher the heat level the more easily it can be recovered.

A few examples of currently applied techniques are:

- preheating fuel or raw materials (metals);
- pinch-technology;
- external applications (e.g. heating greenhouses/ residential areas);
- co-generation in power industry.

Instead of using cooling water or air only, it is customary at refineries to preheat fuels by using a cold incoming hydrocarbon stream to cool down a hot refined stream leaving the unit. Consequently, there is a reduced need to preheat the (cold) crude fuel and a lower demand for cooling water. Depending on the process the number of cold streams can be limited and a certain need for cooling water or air will remain.

Co-generation, or combined heat and power generation, is used in the power industry and in other industrial sectors (e.g. paper industry, (petro-) chemical industry). Where both forms of energy are needed, their generation can be combined. This saves energy, reduces CO₂ and SO₂ emissions and requires hardly any cooling, thereby avoiding the need for (large) cooling systems.

1.3.2 Use of waste heat off-site

If optimising the waste heat generating process does not lead to any further waste heat reduction, the BAT “approach” would be to assess, whether any option of reuse of waste heat can be found. This issue is beyond the scope of IPPC as it also relates to generic good environmental energy management. It can be done on an existing site as well as an integral part of site selection (see next chapter). Finding adequate consumers is, however, not a trivial task. Often requirements of consumers are not reconcilable with the cooling demands. In some cases, heat consumers require a higher temperature level than planned. If it is technically possible to operate the primary process on a higher temperature level, the overall energy balance has to be carefully observed. Often the loss of energy efficiency in the primary process outweighs the savings through the “waste“ energy consumption. Also, care should be taken in creating a situation, in which there develops a dependency on the availability of “waste” heat.

A number of examples can be found of the external application of “waste” heat of power stations for district heating of homes and offices during winter periods or heating of greenhouses by applying co-generation or operating a combined cycle. The applications can raise fuel utilisation efficiency from around 40% up to more than 70% and thus decrease the cooling demand of the installation. In the examples reported, a hybrid cooling tower with variable fan speed is used to be able to adapt to the varying need for district heating. In another case the tower only needed to be operated in dry mode at about 10% of its total capacity as soon as outdoor air temperature had dropped to 5°C, simply because maximum external use of heat was reached at that point. This raises the question of the extent to which the potential options for reuse can influence the choice of a cooling system where flexibility of operation is required. Currently no examples are known that show how the options for reuse are reflected in the selection of a cooling system.

1.4 Selecting of a cooling system in order to meet the process requirements and site conditions

1.4.1 Process requirements

Once the level of heat (high, medium, and low) has been assessed, a first rough selection could be done by applying Table 1.1. In addition to the heat level, many more factors are also

involved in the selection of a cooling system in order to meet the process requirements and general site conditions, such as:

- the required minimum end temperature of the substance to be cooled,;
- the required cooling capacity;
- the requirement for an indirect circuit, which increases the approach;
- climatic conditions, water availability and space requirements.

In view of the indirect effects of sub-optimal process cooling, the required minimum end temperature of the process to be cooled is crucial. This means that the cooling system(s) used or to be chosen will have to achieve this end temperature and at the same time meet other (process-related) requirements. Cooling system performance should preferably be optimised, taking into account the annual temperature range of the coolant. For wet cooling, the wet bulb temperature is important and there is some flexibility to select a design temperature, which in its turn will affect the size of the cooling system and its power requirements. Reduction of the size of cooling systems has to be carefully evaluated and accepted only case by case. Some plants have to be operated the whole year round with acceptable efficiencies and maximum rated output. For example, when mechanical draught towers or dry air coolers are used, it is possible to operate the system in the most economical way if coolers have several cells. Some of them can be taken out of operation in order to save water and electric energy without an appreciable loss of efficiency.

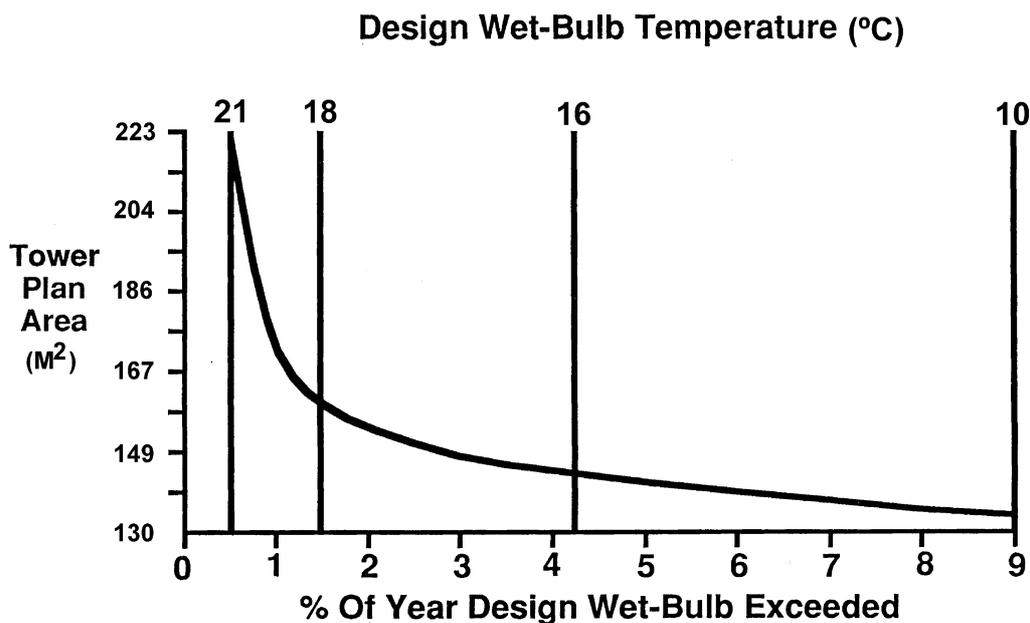


Figure 1.2: Tower plan area as a function of the percentage of time the design wet bulb temperature is exceeded (design temperatures 40/24/18°C), [tm083, Adams and Stevens]

With respect to the power industry, Figure 1.2 is not applicable as optimisation of the cold end is done using validated temperatures:

- for wet or dry cooling towers the wet (or dry) air temperature is taken for all year around, using one value for every 3 hours;
- for once-through the water temperature is measured and one value per month is recommended.

Then, optimisation is done taking into account the valorisation of energy for the whole year. This method, called global actualised balance, is explained in Annex XII.

Generally, in most industries a safety margin is applied to ensure that the cooling system will meet the cooling demand at any time and especially in the summer months. In circumstances where the wet bulb temperature at all times remains well below the design wet bulb temperature or where the heat load appears to be lower, the heat exchanger may have overcapacity. If this is expected, consideration could be given to operational measures, such as variable fan operation, that allow the system to run below capacity and thereby reduce the direct energy demand.

In many industries, it is practice to oversize the cooling system at the installation stage to leave room for capacity growth: the spare capacity is then gradually used up until a new tower needs to be added. When a licence application for expanding production and cooling capacity is being considered, an assessment must always be made of the extent to which there is spare capacity in the existing cooling system, whether inefficiently used (because it is underused) or not well maintained.

This strategy makes it possible to determine the required cooling capacity (kW_{th} or MW_{th}), the size of the cooling system (heat exchanger) and perhaps even the choice of coolant (water or air). In Europe the industries that require large cooling capacities for low process temperatures (power stations and (petro-) chemical industry) have a preference for sites, where large and reliable source of water is available and where the use of once-through systems is possible. Where the water supply is limited large capacity open wet or wet/dry cooling towers are used.

The need to cool (potentially) harmful substances can also affect the size of the cooling system as well as the possible end temperature (See e.g. VCI-safety concept in Chapter 3 and Annex VI). In this situation the BAT "approach" can lead to the conclusion that the effects of leakage can only be adequately prevented if a secondary (indirect) system is applied. This means that a second circulation has to be designed and the design temperature will increase, following an increase of the approach. This will lead to higher end temperatures of the substance to be cooled and further reduction in the overall efficiency.

1.4.2 Site selection

It is obvious that there is a limit to the extent in which site-specific characteristics can be optimised by choosing the optimal site. For existing systems the site simply is a given value and environmental optimisation will have to be considered within the restrictions of the site. For instance, restricting water use by changing to dry air-cooling might seem to be an obvious choice. However, climate conditions may not allow this where dry bulb temperature is expected to exceed the required design temperature for a large part of the year unless a reduced output of the production process is accepted as well as a simultaneous reduction in the overall efficiency of the plant.

If site selection is an option, the requirements of the cooling process can be influenced significantly. Therefore it is important that during the design phase all the following aspects are considered in the site selection process:

- quantity, quality and costs of cooling medium available (water as well as air),
- available size (area, height, weight of cooling installations),
- effect on the quality of water and on aquatic organisms,
- effect on the quality of air,
- meteorological effects,
- discharges of chemical substances into water,
- noise emissions,
- aesthetic aspects of the building,

- capital expenditure for cooling systems, pumps, piping and water treatment,
- operating costs for pumps, fans and water treatment,
- annual costs for maintenance and repair,
- operating parameters such as minimum service life, annual operating time, average load in thermal output and water flow rate,
- operating requirements such as required approach and systems availability,
- environmental legislative requirements regarding heat emissions, plume emissions, acoustic emissions, overall height etc.
- for power plants: plant efficiency losses, capital expenditure to compensate power output losses, plant lifetime and energy revenue losses due to lower plant efficiency.

Space

Different cooling systems need different amounts of space for the same cooling performance and vary in area requirements, height and weight. It depends on the heat transfer principle they follow (See Annex I).

For large systems, space restrictions can be an issue and will be part of the site assessment. The applies to processes to be cooled entirely by air where large multi-cell constructions are needed to ensure the required cooling capacity. For smaller capacities, space restrictions should not be a limiting factor as roof constructions are on the market that are specifically designed for these situations.

Restrictions on space at existing sites, for instance in densely built urban areas or densely built industrial sites, are an important factor in the selection of cooling systems. For example, a cooling tower on top of a building needs no additional ground space, but the roof location may impose restrictions on its weight.

Space and height requirements are important criteria for air-cooled and hybrid systems. The ventilation of air can be achieved by natural draught or by ventilation with fans (mechanical draught). For the same cooling capacity natural draught cooling systems have to be far bigger and higher than mechanical draught systems.

Site assessment

Regarding site selection in a number of Member States, it is common practice that for a large site an environmental impact assessment will be required as part of the permitting procedure. Also, due to the potential high impact of site selection on the cooling performance, there have been initiatives to pre-select optimum cooling sites in regional planning programmes.

An example of the assessment of a site for cooling systems with a large water requirement such as those used by power plants, is given in Table 1.5 [tm012, UBA, 1982]. A combination of local criteria leads towards the classification of a site with its suitability being most, intermediate or least favourable. It should be remarked that using such an assessment is again only part of the total assessment and that a grade 3 site (doubtful suitability) could well be favourable on the overall balance of factors.

An example of the consequences of site selection can be seen when the BAT “approach” is used for a site qualified as grade 3.

Table 1.5: Large cooling demand-related criteria for site selection
(Derived from [tm012, UBA, 1982])

Criteria	Grade 1 (good suitability)	Grade 2 (satisfactory suitability)	Grade 3 (doubtful suitability)	Explanations
Sufficient cooling water supply	W $NNQ > \text{-----}$ $\zeta \ c \ \Delta T$ Plentiful cooling water supply	W $NNQ \approx \text{-----}$ $\zeta \ c \ \Delta T$ Sufficient cooling water supply	W $NNQ < \text{-----}$ $\zeta \ c \ \Delta T$ Insufficient cooling water supply without technical measures	NNQ : lowest known volume flow of surface water W : heat stream to be transferred into water ζ : density of the water c : specific heat capacity of water ΔT : permitted temperature increase of surface water
Suitable water quality	Water quality class II moderately polluted II/III critically polluted	Water quality class III severely contaminated	Irrespective of quality class	(German water quality classification) I non-polluted II moderately polluted II/III critically polluted III-IV very severely contaminated IV excessively contaminated
Complying with permitted evaporation losses	$V < A$ a Minor evaporation losses	$V \approx A$ a Bearable evaporation losses	$V > A$ a Evaporation losses not acceptable without technical measures	V: evaporation losses at selected site (volume flow) A: permitted evaporation for the site a: fraction of A which may be used limited by other waste heat sources of the site
Impact on drinking water supply	Cooling water discharge has no impact on drinking water supply	Cooling water discharge may under certain circumstances impact drinking water supply, negative effects can be avoided	Cooling water discharge impacts drinking water supply, negative effects cannot be ruled out without additional technical measures	This criterion has to be considered if, downstream of the site, drinking water is obtained from the surface water (currently or planned in future)
Frequency of long plumes with low altitude and waste heat transfer in direct site vicinity (radius 2 km)	Very low frequency (<2% p.a. on average) long (<100 m) plumes with low altitude (≤ 300 m) and waste heat transfer < 10 000 MW	Long plumes with low altitude more frequent and waste heat transfer < 10 000 MW	Waste heat transfer > 10 000 MW	
Topographic situation in the vicinity of the site	No or only few elevations with an altitude higher than the cooling tower within about 20 km radius of the site	Several elevations higher than above the cooling tower within about 2 -20 km radius of the site	Several elevations higher than the cooling tower within less than 2 km radius of the site	
Possibility of economic use of waste heat	Great potential for economically feasible usage of district heating	Little potential for economically feasible usage of district heating	No possibility of economic waste heat usage or doubtful because not thoroughly investigated	The possibility for economic usage of waste heat increases attractiveness of a site and may overcome other disadvantages and lower the heat discharge

The assessment should start with a selection of options for reuse of heat, as this could have an effect on the cooling water demand. This criterion cannot be met as no external heat use is possible and all non-recoverable heat will have to be discharged. Water supply and permitted evaporation are limited and in respect of plumes there may be disturbance in the vicinity of the site. If for process reasons a water-cooled system is necessary, water saving methods will have to be applied and, for example, a recirculating system (e.g. open wet cooling tower) instead of a once-through system would be recommended. This will imply the application of some kind of water treatment, depending on water quality and cycles of concentration. The additional requirement would be plume suppression, which prompts consideration of a hybrid configuration. If enough space is available and climatic conditions favourable, the use of air-cooling may equally be considered. The integrated “approach” would follow with a comparison of energy use and costs. The site selection process requires that for the “final candidate” site, detailed considerations about the selection of the possible cooling systems be conducted in order to find the overall optimum solution.

1.4.3 Climatic conditions

The climate expressed in terms of wet and dry bulb temperatures is an extremely important site-specific condition. It influences both the choices of the type of cooling and the possible end temperature of the process to be cooled. The contradiction of cooling with air and/or water is that when the cooling demand is high it becomes more difficult to achieve the requirements. Particularly in areas where high air temperatures and high water temperatures coincide with lower water availability during part of the year a certain operational flexibility of the cooling system can be very important and may be achieved by combining water and air cooling. Sometimes, however, a certain loss of efficiency may have to be accepted.

To reach the required process temperature it is an obvious requirement of all cooling systems that the cooling medium must have a lower temperature than the medium to be cooled, but this depends on the dry and wet bulb temperatures. For both water and air-cooled systems, seasonal variations in the temperature of the cooling medium can be limit the choice of cooling system and can demand a certain way of operation.

Wet bulb temperature is always lower than dry bulb temperature (Table 1.6). The wet bulb temperature depends on the measured temperature of the atmosphere, the humidity and the air pressure. For latent (evaporative) heat transfer the wet bulb temperature is the relevant temperature. It is theoretically the lowest temperature to which water can be cooled by evaporation. For sensible heat transfer the dry bulb (dry air) temperature is relevant, where air is the coolant.

For the selection of the type and design of cooling system, the design temperature is important and usually relates to the summer levels of the wet bulb and dry bulb temperatures. The bigger the difference between these temperatures and the higher the dry bulb temperatures, the more difficult it will be to reach low end temperatures with dry air-cooled systems. As mentioned earlier, this can lead to efficiency losses. Measures can be taken to overcome the loss, but they require a certain investment. For economic reasons it is useful to determine the variation of these temperatures throughout the year and what percentage of the year the maximum temperatures are actually reached.

As an example, Table 1.6 shows how for different climate conditions in Europe the choice for a dry or a wet cooling system can affect process efficiency losses due to the Carnot cycle. In the example, the approach for wet cooling is considered to be 4 K and this has to be added to the wet bulb temperature to get the minimum end temperature of the coolant. The approach for dry cooling is set at 12 K to be added to the dry bulb temperature. The larger the difference between the wet and the dry end temperatures, the higher the loss of efficiency (in this example), where losses of 0.35% per K on average occur. At the same time, with for example 5% efficiency loss, the efficiency of a conventional power plant would be 38.6% instead of 40% (See Annex XII.6).

Table 1.6: Climatic conditions in Europe
(derived from [fm139, Eurovent, 1998])

Country and station	Dry-bulb temp. (1%) ² (°C)	Wet-bulb temp (1%) ² (°C)	DIFFEREN CE K	End temp. Dry system ³ (°C)	End temp. Wet system ⁴ (°C)	ΔT wet- dry (K)	Efficiency loss ⁵ (%)
	Greece Athens	36	22	14	48	26	22
Spain Madrid	34	22	12	46	26	20	7.0
France Paris	32	21	11	44	25	19	6.7
Italy Rome	34	23	11	46	27	19	6.7
Austria Vienna	31	22	9	43	26	17	6.0
Germany Berlin	29	20	9	41	24	17	6.0
Netherlands Amsterdam	26	18	8	38	22	16	5.6
France Nice	31	23	8	43	27	16	5.6
UK London	28	20	8	40	24	16	5.6
Germany Hamburg	27	20	7	39	24	15	5.3
Norway Oslo	26	19	7	38	23	15	5.3
Belgium Brussels	28	21	7	40	25	15	5.3
Spain Barcelona	31	24	7	43	28	15	5.3
Finland Helsinki	25	19	6	37	23	14	4.9
Denmark Copenhagen	26	20	6	38	24	14	4.9
Portugal Lisbon	32	27	5	44	31	13	4.6
UK Glasgow	23	18	5	35	22	13	4.6
Ireland Dublin	23	18	5	35	22	13	4.6

Notes:

- 1) the given data in Table 1.4 are illustrative of the variation of the climate in Europe. Other references may provide slightly different data. The exact data or a site can be analysed by a meteorological institute.
- 2) statistically only 1% of the maximum temperatures are above this data
- 3) approach 12 K
- 4) approach for wet system: 4 K
- 5) loss of efficiency 0.35% per ΔT K on average

1.4.4 Mathematical modelling, simulations on models and tests on pilot loops

For the assessment of the impact of new and existing large cooling systems and for optimising their performance numerical models can be applied, particularly in case of sensitive ecosystems. Simulations and tests on pilot loops can be carried out, forecasting thermal changes of the surface water in the near and far field caused by heat emissions as well as by optimising anti-fouling treatment.

The purpose of modelling is to study any physical-chemical impacts and adapt the results of this modelling to the facilities in order to reduce these impacts to the greatest possible extent. It is particularly important to study:

- water withdrawals and discharges,
- the visual aspects of the site,
- the development of plumes,
- the thermal and chemical impacts on the receiving environment.

The objective of the pilot loop tests is to define the optimum treatment of cooling water both with regard to scaling and to any biological developments. To do so, pilot facilities representing real commercial operating conditions are installed on the site for about one year. This makes it possible to take account of variations in the quality of the waterway in the course of the seasons and to try out some options on a representative scale (e.g. choice of cooling tower fills, choice of alloy).

1.5 Selecting a cooling technique in order to meet environmental requirements

The environmental requirements can affect cooling systems application and are an additional step in the balanced selection of a new cooling system or in the optimisation of an existing cooling system. Generally, five major aspects with consequences for cooling systems selection can be distinguished:

- minimisation of energy use
- minimisation of heat emissions
- minimisation of large plume emissions
- minimisation of emissions to water
- minimisation of noise emissions
- minimisation of immissions to soil and terrestrial habitats

The aspects are cross-linked and each choice potentially has its consequences for one of the other aspects. The aim is to prevent emissions to the environment from routine operations. In this assessment step the differences between water-, air- and air/water-cooling should become clear as well as the operational consequences of the choice of a particular design or a particular material.

1.5.1 General comparison between air and water cooled systems

Minimisation of the environmental aspects is often translated into a comparison between water- and air-cooling systems. It has been advocated earlier in the document that a judgement of water versus air cooling should not be made in a general sense as this leaves out the local constraints that might limit the use of either system. However, it could be opportune to consider or reconsider water requirements of a cooling system in view of programmes on water

conservation and of the increasing demand on water with good quality for other purposes (civil and industrial) than cooling.

The economical turning point in the choice between dry air cooling and water cooling systems is not fixed and according to literature will be somewhere between 50°C and 65°C (as end temperature) depending on the local climatic conditions.

Some general remarks have been made in a comparison of the features of dry air cooling and wet cooling systems with the same required cooling capacity: [tm001, Bloemkolk, 1997]

On space requirements:

- Air-cooling demands space because of the low specific heat capacity of air. The space can be kept to a minimum by installing air-coolers above other process equipment or a pipe bridge;
- Air-cooling systems have limits to their location as they cannot be placed too close to buildings because of the resulting air-circulation, blockage of air-supply and the danger of recirculation;

Maintenance costs

- Generally maintenance costs for air cooling are considered to be lower as they do not require anti-scaling and mechanical cleaning of the water-contact surface area and do not require additional surface area to compensate for surface loss caused by pollution on the water side;

Process control

- Control of the temperature of the process is easier with air-cooling or with a recirculating flow than with once-through cooling, where the balance of water inlet and outlet restricts the controllability of the water flow and the temperature increase. With mechanical draught cooling or evaporative systems there is no limit to the available amount of air, and the airflow can be adjusted according to the process demand using fan cycling, a multi-fan installation or modulating capacity control;
- Control of leakage in cooling-water is easier to detect, although detection of leakage in condensers is reported to be more difficult. Usually this affects the efficiency of the process.

1.5.2 Design factors and choice of materials

Following the BAT “approach”, the design of the cooling system and the choice of materials to be used are an important preventive step. Both can affect the operation as the required amount of direct energy consumption, the occurrence of controlled (water treatment) and uncontrolled (leakage) emissions to the environment, noise emissions, and the direction of heat emissions (water or air). Also, the selected design and materials will require a certain level of investment. Again, the balance is sought between the level of prevention of emissions by design and used materials and the investment costs involved. This again is a site-specific and complex matter in which the following factors are taken into account:

- type of operation (e.g. once-through or recirculating)
- design of cooler and layout of cooling system (direct/indirect)
- pressure level (condenser)
- composition and corrosiveness of the cooling water
- composition and corrosiveness of the medium to be cooled
- required longevity and costs

A range of materials is available and, in order of increasing resistance, most commonly used are carbon steel, coated (galvanised) steel, aluminium/brass, copper/nickel, adequate types of stainless steel and titanium. Within these groups a further sub-classification on the quality is

used. Especially resistance to corrosion, mechanical erosion and biological pollution is greatly determined by the quality of the water combined with possible conditioning agents.

In Annex IV some considerations on the selection of material are given for once-through and open recirculating systems. For each industrial cooling system a similar assessment can be done. In case of water and water/air systems the material that can be selected depends on both the coolant and the process medium, whereas with primary closed circuit dry cooling, the process medium is more important.

It is obvious that for different parts of the installation different materials can be used. The quality of material least sensitive to the corrosiveness of the water or to the conditions of the process is preferred. If more sensitive materials (alloys) are chosen, the consequence can be that a complex cooling water treatment and control program is needed, which will lead to emissions and costs.

Table 1.7 shows an example on the effect caused by differences in design. Three towers are designed for the same cooling performance and the same required environmental performance. The choice for a cooling system means different sizes, but in particular a difference in energy costs as about 7 kW more is needed for the closed circuit cooling tower to be able to give the same performance with the same sound power level. In this case costs of operation may lead to choose one of the other options. For other design factors similar comparisons can be made, which may lead to different effects favouring another option.

Table 1.7: Comparison of different cooling systems with a required maximum sound power level [tm139, Eurovent, 1998]

	Mechanical draught wet cooling tower	Closed circuit cooling tower	Hybrid closed circuit cooling tower
Climate:			
dry bulb temperature	26 °C		
wet bulb temperature	18 °C		
Given Duties:			
Capacity	1200 kW		
inlet temperature	38 °C		
outlet temperature	32 °C		
Flow	47.8 l/s		
sound power level	90 dB(A)	90 dB(A)	90 dB(A)
SPECIFIC DATA:			
Length	3.7 m	3.7 m	5.2 m
Width	2.8 m	2.4 m	2.0 m
Height	3.2 m	4.2 m	3.0 m
Fan power	5 kW	11 kW	5.0 kW
Spray pump power	1 kW	2.2 kW	1.0 kW

1.5.3 Options for a technological change of existing systems

For a new cooling system, there will be more flexibility to select between complete systems and to assess the alternative options, whereas for an existing installation a change of technology often is a drastic solution. Sometimes in specific cases, it is possible to change the technology, but the number of options to reduce emissions via technological solutions is limited for existing installations. As the BAT “approach” considers that prevention of emissions prevails, taking into account also the economical aspects, change of technology is an option that should be considered before the optimisation of operating a cooling system is to be further assessed. In the

following paragraphs observations and experiences by suppliers are presented to give examples of possible optimisation steps in the BAT “approach” (See also Annex XI).

1.5.3.1 Retrofit – reasons and considerations

Retrofitting existing installations can be considered for the following reasons:

1. replace existing technology by a different technology with lower operating demands,
2. replace outdated technology equipment by modern equipment with higher efficiency, and
3. modify existing equipment to improve performance or to meet additional demands.

Different from the selection of a new installation, where the site parameters can be more or less defined, in retrofit scenarios usually the following number of parameters is fixed:

- space - the retrofit installation must fit into the existing space,
- the availability of operating resources – the new installation should not exceed the operating resources, which were needed for the old one, new infrastructure would result in an increase in costs, and
- legislative restrictions – environmental impacts, like sound criteria, usually have to be at the same level or below the ones of the old installation.

Space is often an important reason for retrofitting itself. If a plant or building will be built new on an existing space-restricted site, it could be a solution to select a new type of cooling system, which can be placed on the roof of a building or which needs less space than the old one.

The preferred solution would be a new installation with lower operation needs, so that the retrofit is also associated with lower operating costs. Lower operating cost will be one of the main reasons for retrofitting. It is preferred, however, to consider a retrofit scenario, which reduces the emissions as well as the consumption of operating resources. In general this will require higher investment cost. Considering the operating cost savings and any potential reduction in emissions, larger investment costs can pay off in short periods of time.

All retrofit scenarios have to consider both the cooling technology and the process to be cooled. Both have to be seen as one system. Changes in the cooling system may have effects on the process and vice versa. The first aim of any retrofit must be to maintain, or if possible improve, the efficiency of the process to be cooled. On the other hand, changes in the process to be cooled will also result in different demands on the cooling system. This could be another important reason for retrofitting.

Changes in the process to be cooled can result in a change of demands on the cooling system.

- Due to new technology less waste heat is generated by the process, less cooling capacity is needed (example: computer terminals, processes with friction).
- The temperature level of the waste heat has changed, both to higher or lower temperatures (example: incineration processes).
- Larger parts of the generated heat of the process are recuperated, so less waste heat has to be removed to the environment.
- The temperature sensitivity of the process is increased, a more efficient cooling system is needed.

Table 1.8 summarises the options for technological upgrading that, according to suppliers information, can be considered to be technically easy (E), possible (P), difficult (D), not possible (NP), or does not apply (NA). Generally, each system has a varying number of options for retrofit. NP-E is an indication that the application of an option is largely dependent on the specific situation, in which the cooling system operates. (See also Chapter 3 and Annexes).

Table 1.8: Technological upgrading options for existing systems (pers. comm.)

Option	Industrial cooling systems ¹					
	OTCS	OWCT	OWDCT	CCWCT	CCDCT	CCWDCT
General	E	E	E	E	E	E
Improve capacity	E	E	D	D	D	D
Reduce kW _e	D	E	D	E	D	D
Reduce water-use	NA	NP-E	D	NP-E	NA	D
Reduce plume	NA	NP-E	NA	E	NA	NA
Reduce noise	NA	E	D	E	D	E
Reduce drift	NA	E	E	E	NA	E

Notes:
¹System code (see also Chapter 2):
 OTCS – once-through cooling system
 OWCT – open wet cooling tower
 OWDCT – open wet/dry cooling tower
 CCWCT – closed circuit wet cooling tower
 CCDCT – closed circuit dry cooling tower
 CCWDCT – closed circuit wet dry cooling tower

There are many possible ways to retrofit a cooling process and some typical scenarios along with their relevant considerations are listed in the following paragraphs.

1.5.3.2 Change of heat transfer technology

Usually, lower operational costs associated with a new technology or legislative restrictions are major reasons for the replacement of one heat transfer technology by another technology.

A typical example is the replacement of a once-through system by a recirculating system, saving on operating costs (water and sewage) and following restrictions on heat emissions to a surface water. The economic performance of the recirculating system depends on the specific costs for water, sewage and electrical energy. Assuming average water and sewage costs of 1 [€/m³] and electrical energy costs of 0.1 [€/kWh], the operating costs in this example are 38800 € for the once-through system and 48000 € (2100 € for water and 27000 € for energy) for the recirculating system. The annual saving is 34000 €, which is higher than the investment costs of 21000 €. If the balance favours the environment in the first place and investment costs will be much larger than annual costs, the investment recovery period will become an important factor.

In this example both the environment with respect to water requirements and the company benefit from a change in technology at the same time. The environmental costs however are due to additional energy requirements for extra fan and pump energy. Water use in this example is by large affected by the evaporation loss which has been calculated by assuming that they amount to 1.8% of the circulation per 10K of cooling (see Annex V.3).

This example merely shows how to approach changes in technology. With different price levels the outcome will be quite different and may favour the once-through system. For example, in Italy, where electricity cost is about 0.05 [€/kWh] and water cost for an open circuit 0.01 [€/m³] against 0.1-0.2 [€/m³] for a closed circuit, the once-through systems would be more favourable from an economic point of view.

Table 1.9: Example for conversion of a once-through system into a recirculating system [tm139, Eurovent, 1998]

Example: air compressor 500 kW	Once-through system	Recirculating system
inlet temperature	15 °C	27 °C
outlet temperature	35 °C	35 °C
flow rate	6 l/s	15 l/s
annual operating hours	1800 h	1800 h
evaporation loss	-	1400 m ³ /a
blow down	-	700 m ³ /a
annual water use	38800 m ³ /a	2100 m ³ /a
extra fan and pump energy	-	15kW
investment cost	-	€ 21000

If a change of the cooling configuration is considered, the effects on the overall efficiency must be taken into account. If possible, the efficiency should be increased. For temperature sensitive processes, it needs checking whether a cooling technology can provide lower end temperatures at the same level of safety.

The example of replacing a water-cooled condenser with an open cooling tower by an evaporative condenser shows an effect on end temperature and system efficiency. Such a technological replacement can potentially reduce the condensing temperature by 4 – 6 K depending on actual conditions. The efficiency gain of such retrofit can be estimated in order of magnitude of 12 – 15 % of the power requirement of the refrigerant compressor [tm139, Eurovent, 1998]

For temperature sensitive applications in the medium temperature range, the introduction of hybrid systems could be favourable, where water use and/or water and sewage costs have to be reduced. Such a change, generally, does not increase electrical demand, but can reduce the annual water consumption considerably. Depending on actual conditions and required size, hybrid concepts may require additional space.

1.5.3.3 Replacement of outdated heat transfer technology by modern one

Often a change of cooling technology for different reasons is not suitable. However, also a modification of the existing technology could lead to better efficiency, better performance, less emissions and lower operating costs. Development of air moving systems and heat transfer surfaces, as well as the application of more durable construction materials, are main reasons for replacement scenarios.

As there is usually no change in process temperatures (same technology) the main focus in this scenario is to reduce operating resources and environmental impacts as well as to achieve an extension of equipment's life. Equipment's life extension of more than 10 years can be realised by the use of new durable materials. It is very likely that any equipment installed 15 or 20 years ago, can now be replaced by modern equipment with higher operating efficiency and better environmental and economic performance.

A typical example for improvement of once-through cooling systems is the application of the more efficient plate and frame heat exchangers. For evaporative cooling systems for example, major developments have taken place to improve the performance of fill packs and of air moving systems, resulting in a more compact design with higher energy efficiencies. For air-cooled systems, new technology to shape fins in various ways has achieved similar results. An example of what could be the effect on energy use if applying better efficiency is illustrated in

Table 1.10. In this case the investment costs need to be balanced with the yearly operation costs for energy use and maintenance of fill.

Table 1.10: Example for conversion of an outdated mechanical draught wet cooling tower into modern design
[tm139, Eurovent, 1998]

Example: Mechanical draught wet cooling tower	Outdated design: induced draught concept with <u>low-efficiency fill</u> and fan system	Modern design: induced draught concept with <u>high-efficiency fill</u> and fan system
Capacity	1200 kW	
Inlet temperature	38 °C	
Outlet temperature	28 °C	
Wet bulb temperature	21 °C	
Water flow	28.7 l/s	
Fan power requirement	7.5 kW	4 kW
Energy consumption for fans	9 MWh/yr	4.8 MWh/yr
Investment cost	-	€ 14000

1.5.3.4 Upgrading existing heat transfer technology

Often it is not necessary to replace the whole cooling system. The performance of existing cooling systems can also be improved by upgrading. Major components or accessories of the system are replaced or repaired, while the existing installation remains in situ. Upgrading can increase system efficiency and reduce the environmental impact. Examples of upgrading are new and more efficient fill packs of cooling towers and the application of sound-attenuation.

The cases in Table 1.11 and Table 1.12 should be considered as simplified illustrations. For an integrated assessment of the environmental gain other factors should be considered as well. For example, with the replacement of cooling tower fill, the environmental costs for the old fill that has to be disposed of must be included also.

Table 1.11: Example for replacement of outdated fill of a mechanical draught wet cooling tower with modern high efficiency fill
[tm139, Eurovent, 1998]

Example: mechanical draught wet cooling tower	Outdated fill	High efficient fill
Capacity	3600 kW	
Inlet temperature	38 °C	
Outlet temperature	28 °C	
Wet bulb temperature	21 °C	
Water flow	86.1 l/s	
Existing cell floor space	26 m ²	
Fan power requirement	22.5 kW	13.5 kW
Energy consumption for fans	81 MWh/yr	48.6 MWh/yr
Investment cost	-	€ 29000

That not all changes have only positive effects can be observed from Table 1.12 where a considerable reduction of the noise level has been achieved. However, noise abatement usually leads to fall of pressure, which must be compensated by a higher performance of the fans. This in its turn raises the direct energy use of the cooling system. It will be a matter of local

preference whether a lower energy use or a lower noise level prevails. Investment and maintenance costs should be compared with reduced costs for energy consumption.

Upgrading the operational strategy is another example of efficiency improvement. The on and off cycling of fans can be changed into modulating control with frequency converters. This can result in significant savings of electrical energy, which, depending on conditions, can be 70% and more.

Investment costs for upgrading can differ greatly and depend on the type of upgrading and the age of the existing installation. The investment is accompanied by lower operating costs as a result of a higher efficiency. Investment costs for upgrading will generally be lower than those for technology changes or replacements of equipment.

Table 1.12: Example for the improvement of acoustic performance by addition of sound attenuation
[tm139, Eurovent, 1998]

Example: mechanical draught wet cooling tower	Existing wet cooling tower	Upgrading with sound attenuation
Capacity	1200 kW	
Inlet temperature	38 °C	
Outlet temperature	28 °C	
Wet bulb temperature	21 °C	
Water flow	28.7 l/s	
Fan power requirement	15 kW	18kW
SOUND POWER LEVEL	90 dB(A)	81 dB(A)
Investment cost	-	€ 12000

1.6 Economic considerations

Costs are always among the most important factors for the selection of a cooling system and can only be assessed on an individual project level. Three important types of costs can be distinguished:

- investment costs,
- maintenance costs,
- operating costs related to energy (and water) requirements,
- environmental costs, such as taxes and costs for waste disposal.

The absolute costs and the relation between the different costs vary and depending on the cooling system. The cooling system with lowest investment costs is not necessarily also the system that requires minimal operating resources. Technical solutions to minimise resource consumption often lead to higher investment cost.

Therefore, it is important that economic considerations not only focus on simple investment cost comparisons, but also on operating costs of a cooling system. For power plants, operating costs are linked to the overall energy efficiency. The financial effect of a variation in efficiency caused by the choice of a different cooling system must be assessed. Generally for power plants, the comparison of different solutions is done using the earlier mentioned techno-economic method using an ‘actualised’ or ‘valoridated’ ratio that varies between countries. [tm056, Caudron, 1991].

2 TECHNOLOGICAL ASPECTS OF APPLIED COOLING SYSTEMS

2.1 Introduction

This chapter gives brief description of the principles of some of the cooling systems configurations used in European industry. Within these configurations a variety of applications can be found all aimed at meeting process, site, environmental and economic requirements. The size and type of heat exchanger, type of fans and operational practice also vary. The different types of cooling systems can be classified by different criteria. The standard literature uses the following criteria:

- 1 dry air-cooled and evaporative wet cooled - according to the dominating thermodynamic principle – respectively sensible heat transfer and a combination of latent and sensible heat transfer. In evaporative cooling the two principles are coupled, but the main part of heat is transferred latent, at dry cooling only sensible heat transfer takes place.
- 2 open or closed systems – in an open system the process medium or the coolant is in contact with the environment; in a closed system the process medium or the coolant circulates inside the tubes, coils or conduits and does not have contact with the environment.
- 3 direct or indirect systems – in a direct system there is one heat exchanger where coolant and medium to be cooled exchange heat; in an indirect system there are at least two heat exchangers and a closed secondary cooling circle, between the process or product to be cooled and the primary coolant. Due to the additional heat exchanger, indirect systems have a higher approach (about 5 K). Direct and indirect systems are also known as primary and secondary systems. In principle every direct cooling system can be transformed into an indirect system and this option is considered in situations where leakage of the process medium would endanger the environment.

Direct contact cooling systems (not to be confused with direct/indirect) are not described in this BREF, because their characteristics depend strongly on the industrial process they are applied to (e.g. hot steel). Another type of cooling is a once-through system with barometric condensers, in which a gas flow is cooled directly by dosage water over it. They can be found in the food industry. These systems are not covered in this document, either are systems that use vacuum techniques or specific refrigerants, such as HCFC.

In practice a variety of names used for both cooling equipment and cooling configurations found inside and outside of Europe. Nomenclature is often linked to the purpose of the application and in power generation plant typology refers to the condensing process (see Annex XII). In general, the following list of systems commonly applied by European industry can be derived from the above-given principles.

- once-through cooling systems (with or without cooling tower)
- open recirculating cooling systems (wet cooling towers)
- closed circuit cooling systems
 - air-cooled cooling systems
 - closed circuit wet cooling systems
- combined wet/dry (hybrid) cooling systems
 - open hybrid cooling towers
 - closed circuit hybrid towers

For closed recirculating cooling systems, further distinction can be made between small off-the-peg applications and large, tailor-made ones that are constructed or assembled on site.

Generally, once-through systems and open recirculating systems are applied to larger plants in the power and the (petro-) chemical industries.

The term tower is applied to both shell type constructions (e.g. large natural draught) and cell type constructions, which can be small and can be found in roof type applications.

For comparison, some technical and thermodynamic characteristics of the most common industrial cooling systems are summarised in Table 2.1. These data are an example derived from a given number of assumptions (see legend to the table). It is important to realise that approaches can vary and depend largely on the design of the heat exchanger and the temperature of the ambient air. The minimum end temperatures of the process medium will vary accordingly. For power stations, the approach is calculated in a different way (see Annex I).

Table 2.1: Example of technical and thermodynamic characteristics of the different cooling systems for industrial (non-power plant) applications [tm139, Eurovent, 1998]

Cooling system	COOLING MEDIUM	Main cooling principle	Minimum approaches (K) ⁴⁾	Minimum achievable end temperature of the process medium ⁵⁾ (°C)	Capacity of industrial process (MW _{th})
Open once-through system - direct	Water	Conduction/Convection	3 – 5	18 – 20	<0.01 - > 2000
Open once-through system - indirect	Water	Conduction/Convection	6 – 10	21 – 25	<0.01 - > 1000
Open recirculating cooling system - direct	Water ¹⁾ Air ²⁾	Evaporation ³⁾	6 – 10	27 – 31	< 0.1 - >2000
Open recirculating cooling system - indirect	Water ¹⁾ Air ²⁾	Evaporation ³⁾	9 – 15	30 – 36	< 0.1 - > 200
Closed circuit wet cooling system	Water ¹⁾ Air ²⁾	Evaporation + convection	7 – 14 ⁷⁾	28 – 35	0.2 – 10
Closed circuit dry air cooling system	Air	Convection	10 – 15	40 – 45	< 0.1 – 100
Open hybrid cooling	Water ¹⁾ Air ²⁾	Evaporation + convection	7 – 14	28 – 35	0.15 - 2.5 ⁶⁾
Closed hybrid cooling	Water ¹⁾ Air ²⁾	Evaporation + convection	7 – 14	28 – 35	0.15 - 2.5 ⁶⁾

Notes:

- 1) Water is the secondary cooling medium and is mostly recirculated. Evaporating water transfers the heat to the air
- 2) Air is the cooling medium in which the heat is transferred to the environment.
- 3) Evaporation is the main cooling principle. Heat is also transferred by conduction/convection but in a smaller ratio.
- 4) Approaches of heat exchanger and cooling tower must be added
- 5) End temperatures depend on the site's climate (data are valid for average middle European climate conditions 30°/21°C dry / wet bulb temperature and 15°C max. water temperature)
- 6) Capacity of small units – with a combination of several units or specially built cooling, systems higher capacities can be achieved.
- 7) Where an indirect system applies or convection is also involved the approach in this example increases with 3-5K leading to an increased process temperature

The example of Table 2.1 shows that configurations have different temperature ranges and that the desired temperature range for a process might need a certain configuration. For reasons of space and costs, dry air-cooling systems are generally not used for very large capacities, whereas water cooling can be applied for the discharge of heat up to 2000 MW_{th} or more.

For condensers the approaches are higher. The approach for once through systems corresponds to the sum of the “terminal difference” and the temperature rise of the cooling water. The term “terminal difference” to the temperature difference between the temperature of the steam

entering the condenser (or the condensed steam leaving the condenser) and the temperature of the cooling medium (water) leaving the condenser. The values differ between 3 and 5 K. The applicable data are presented in Table 2.2.

Table 2.2: Examples of capacity and thermodynamic characteristics of different cooling systems for applications in power industry

[Comment EDF/[tm056, Caudron, 1991] [tm056, Caudron, 1991] [tm056, Caudron, 1991]]

Cooling system	Applied approaches (K)	Capacity of power generating process (MW_{th})
Open once-through systems	13-20 (terminal difference 3-5)	< 2700
Open wet cooling tower	7-15	< 2700
Open hybrid cooling tower	15-20	< 2500
Dry air cooled condenser	15-25	< 900

This chapter gives an overview of the most common industrial cooling systems and an indication of their associated environmental aspects. More detailed information on heat exchangers and material can be found in Annexes III and V, as well as in the documents in the reference list. In the following paragraphs the technical terms will be used that have been most commonly encountered in the literature. As an aid to consulting references, an indication will be given where other terms are also used.

2.2 Heat exchangers

Heat exchangers are the crucial heat transferring elements, being part of both the process to be cooled and the cooling system. After the heat exchanger, different systems are used to discharge the heat into the environment. Two types of heat exchangers are commonly in use: the shell and tube type (the most common) and the plate and frame type.

2.2.1 Shell and tube heat exchangers

There is a lot of experience with this kind of heat exchanger in the process industry and it has proven reasonably reliable. There is a range of different designs, where tubes run straight or in a U-form or where the heat exchanger is particularly designed for high-pressure conditions, high temperatures, operating with steam or thermal fluids. Usually the tubes contain the cooling water and the process medium moves around the tubes within the shell. For a more extensive discussion on shell and tube heat exchangers see Annex II.

2.2.2 Plate and frame heat exchangers

Plate and frame heat exchangers are increasingly used for a range of applications in sugar refineries, (petro-) chemical industry and power plants. They are particularly suitable for use at a lower approach as well as in cold applications (< 0°C). However, these exchangers are less suitable for cooling of steam and high gas volumes, and in situations where there is danger of sedimentation and/or fouling and for high pressure differences between the process fluid and the coolant. Some designs have a double construction to guarantee leakage-free operation, but this is reported to be very difficult to maintain. Plate and frame heat exchangers are economic as they can be much more compact (e.g. circular) than shell and tubes with the equivalent exchange surface area.

2.2.3 Environmental issues of heat exchangers

From an environmental point of view the following issues are important for both types of heat exchangers:

- adequate design for efficient heat exchange;
- proper construction to prevent leakage of the process fluid into the cooling medium;
- choice of material for the efficiency of heat transfer, for resistance to corrosion in water and to corrosion due to the process medium;
- possibility of using mechanical cleaning devices.

2.3 Once-through cooling systems

2.3.1 Direct once-through cooling systems

Technical description

In direct once-through systems, water is pumped from a source (e.g. a river, lake, sea or estuary) via large water inlet channels directly to the process. After passing heat exchangers or condensers the heated water is discharged directly back into the surface water. The heat is transferred from the process to the coolant through the partition wall in the form of tubes in a shell & tube or in a plate & frame heat exchanger. Once-through systems are identified by various names. For example, in the paper industry, many mills refer to their once-through cooling water as "mill supply". [tm010, Betz, 1991]

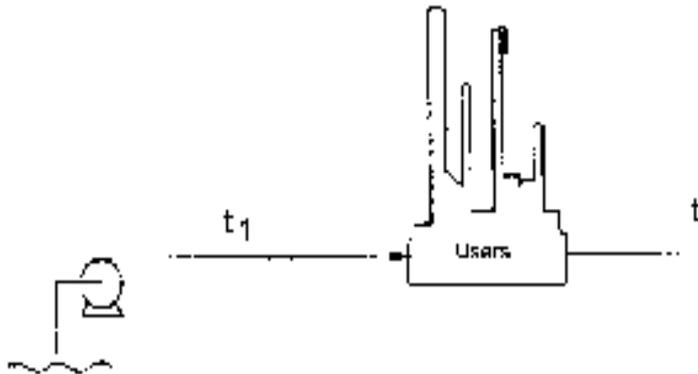


Figure 2.1: Schematic representation of a direct once-through cooling system [tm001, Bloemkolk, 1997]

Cooling capacity

Once-through systems are designed mostly for large cooling capacities ($>1000 \text{ MW}_{\text{th}}$), but may also be designed for small systems ($< 10 \text{ kW}_{\text{th}}$). Typical water flows for large power plants to cool 1 MW_{th} are in the range $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta T = 12\text{K}$) to $0.034 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\Delta T = 7\text{K}$). With once-through cooling, low end temperatures can be reached with a corresponding approach of 3-5K.

Environmental aspects

For once-through systems the major environmental aspects mentioned are:

- the use of large amounts of water
- heat emission,
- the risk of fish intake,
- sensitivity to bio-fouling, scaling or corrosion
- the use of additives and the resulting emissions to water,
- energy consumption, mainly for pumps,
- the risk of leakage from the process stream, and
- the silting-up of sieves at water intake.

Application

Once-through systems are used by large industrial processes such as the power generating industry, chemical industry and refineries. The water used for once-through cooling is mostly surface water. For smaller scale uses, such as pump cooling, tap water or groundwater is also used. A reliable source of water near the site and at a suitably low temperature is an essential condition for once-through systems. The quality of the surface water and the discharge limits can also affect the applicability, but generally water quality and water chemistry are less restrictive than in the case of recirculating systems. [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

2.3.2 Once-through cooling systems with cooling tower

Because of the power generating process operates under vacuum conditions, leakage in the condenser of a power plant generally means pollution of the process-water by the cooling water. On a number of sites, once-through systems can be found combined with a cooling tower to precool the discharge before it is emitted into the receiving surface water. This configuration is applied in situations where cooling water may recirculate and raise the temperature of the cooling water intake of the same plant or other industries. River capacity, tidal movement, plant-size and temperature of the surface water are also factors. This kind of precooling can be found at coastal power stations (estuaries) and inland at riverbanks.

Environmental aspects of open wet cooling towers will apply to these cooling systems. Biological growth and deposits have to be considered when choosing cooling tower fill. In general, cooling towers with wide spread fill or splash fills are applied.

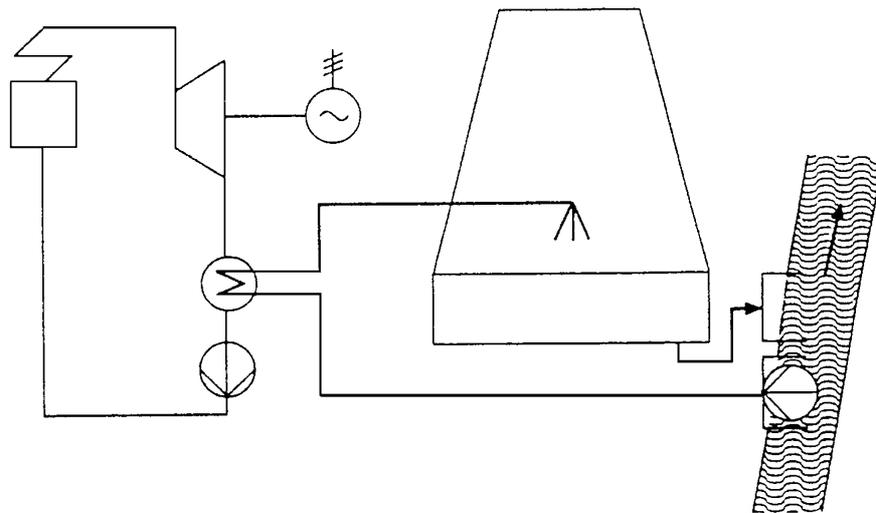


Figure 2.2: Schematic representation of a direct once-through cooling system with a cooling tower applied in power industry
[tm132, Eurelectric, 1998]

2.3.3 Indirect once-through cooling systems

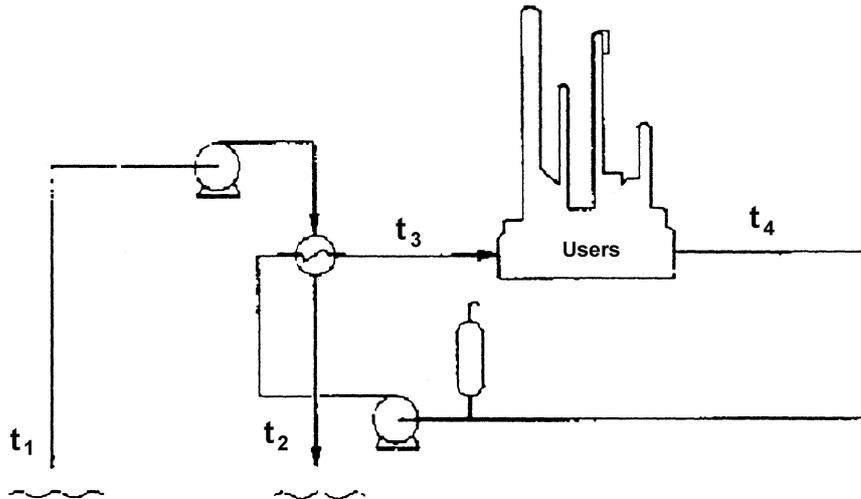


Figure 2.3: Schematic representation of an indirect once-through cooling system
[tm001, Bloemkolk, 1997]

Technical description

This cooling configuration is similar to the direct once-through system, but is indirect because there is no direct transfer from the process fluid/vapor to the coolant that is discharged. Here, the term secondary cooling system is also used. Heat is transferred from the process medium or product to a coolant that circulates in a closed circuit (t_3 and t_4). The coolant in this secondary cooling circuit transfers its heat via heat exchangers to the coolant (e.g. surface water) that flows through the heat exchangers only once, the so-called primary cooling water (t_1 and t_2). This water is directly discharged into the surface water, whereas the secondary coolant remains in the closed circuit.

Cooling capacity

With indirect once-through cooling, the same low end temperatures can be reached, but due to the extra heat exchanger the approach can increase by another 3-5K, depending on the efficiency of the heat exchanger.

Environmental aspects

See also direct OTS. The design means that the risk of discharge of leaked process fluids to the surface water is of minimal or zero.

Application

The indirect once-through cooling water system is used where there is a high environmental risk if process fluids leak into the cooling water. Availability and quality of the surface water are also important for this cooling system. This system also creates a thermal load in the receiving surface water. A variant of the indirect once-through system is to recycle a part of the water of the primary cycle. This part is cooled by air before it is mixed with new incoming cooling water. This extra cooling capacity can be used in periods of the year when insufficient cooling water is available.

Generally, as a result of the extra heat exchanger (i.e. higher approach) the process end temperatures that can be reached are not as low as with direct once-through cooling.

2.4 Open recirculating cooling systems

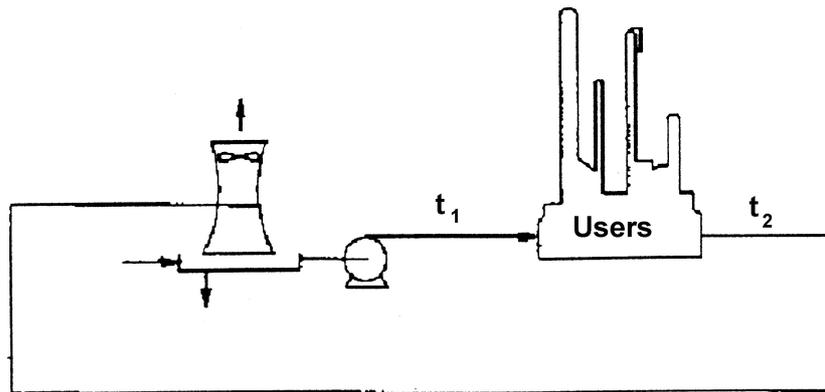


Figure 2.4: Schematic representation of an open recirculating system
[tm001, Bloemkolk, 1997]

Technical description

Open recirculating cooling systems are also referred to as open evaporative cooling systems. In these systems, cooling water that is led through the heat exchanger(s) systems is cooled down in a cooling tower where the majority of the heat is discharged to the environment. In the cooling tower the heated water is distributed over the cooling tower fill and is cooled by contact with air and collected in a reservoir, after which it is pumped back to the heat to be reused as a coolant. The air movement is created naturally or by means of fans that push or pull the air through the tower. Cooling of the water is a result of evaporation of a small part of the cooling water and of sensible heat loss by the direct cooling of water by air, also called convection. The wet and dry bulb temperatures largely influence the level at which these systems can operate.

Most, but not all of the water that is cooled in the tower is recirculated and can be used as cooling water again. The main causes of water loss are evaporation, blowdown (windage, drift, purge (intentional blowdown) and leaks. Intentional blowdown is the draining of water from the circuit necessary to avoid thickening of the cooling water (Annex VI). To compensate for the blowdown and evaporation, water is added and this is the so-called make-up. Generally, the make-up water flow used by an open recirculating system is about 1-3% of the flow of a once-through system with the same cooling capacity. For the power industry this can be 1-5%. This is equal to a requirement of approximately “0.25% x cooling range”, which is the make-up water quantity as a percentage of the circulating water flow. Blowdown generally ranges from 0.15-0.80 m³/s per 1000 MWth cooled. (Water-half time varies between one hour and four days.) This system requires sufficient quantities of water available all year around and generally cooling water treatment is necessary.

Cooling capacity

Open recirculating systems are mainly used for industrial applications with a heat capacity ranging from 1-100 MWth, but also for power stations with much larger capacities. These systems are mostly applied inland where insufficient water is available, or where no further rise of the water temperature of the receiving water is acceptable, a situation found alongside rivers with low flows in warm summer months [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. Wet cooling towers transfer to the atmosphere about 80% of the residual heat in the form of latent heat (water vapour) and about 20% by sensible heat [tm132, Eurelectric, 1998]. Approaches of 4K are technically and economically achievable between 15 and 30°C. Approaches and minimum end temperatures depend on the climatic conditions on site.

Environmental aspects

The environmental aspects of recirculating systems depend particularly on the type of cooling tower and the way it is operated. They are:

- cooling water additives and their emission through the blowdown to surface water,
- use of energy for pumps and fans,
- emissions into air,
- plume formation, condensation and ice-formation,
- noise,
- waste due to replacement of cooling tower fill, and
- human health aspects.

Application

Recirculating systems are applied in a wide range of processes. One feature is the reduction of heat load to a receiving waterway by changing the direction of the discharged waste heat from the surface water to the air. Another feature is the reduction of the amount of water used for cooling. A common practice therefore is the modification of once-through cooling systems into open evaporative cooling systems by applying one or more cooling towers.

Open recirculating configurations are:

- open wet cooling towers
- open hybrid or wet/dry cooling towers

2.4.1 Natural draught wet cooling towers

Construction

Large towers nowadays are shell type and made of reinforced concrete. The constructions are mostly hyperbolic-rotational shells having advantages in thermodynamic/statical aspects. Investment costs are high, whereas operational costs are comparatively low. Natural draught wet cooling towers are commonly used for large power stations and large industrial plants.

Water distribution system

The water returning from the heat exchanger is brought into the tower using a water distribution system. This system creates fine droplets or a water film. Uniform distribution enhances the heat exchange. Options are offered for partial operation of the water distribution system to lower the cooling capacity if needed. Also, winter operating modes are offered based on preheating of the cooling air.

Cooling tower fill

The fill section is the important part of each open wet tower, creating the contact surface for the exchange of heat from water to air. There can be film fill or splash type fill. Film fill usually consists of closely packed, corrugated, vertical sheets or sheets of organic materials, which cause the water to flow down through the tower in a very thin film. This fill is very efficient and can be used for most applications. Some types may require a certain water quality, because they are susceptible to fouling.

Splash type fill can be found in different configurations and can be made of a variety of materials (e.g. wood). Splash fill has a much lower efficiency than film fill, but is used particularly situations where the water is heavily contaminated or of poor quality, where film fill would have problems due to a contaminated surface. Where the suspended matter content is high, fibre cement sheets are also used.

Drift eliminators

To save water, drift eliminators are installed above the water distributors to prevent the water droplets from being entrained by the airflow. Nowadays, drift eliminators are made of a number

of materials, such as plastic or fibre cement, and designed in such a way that they cause minimal pressure drop.

Characteristics of natural draught wet cooling towers:

- airflow is a result of air density differences and of shape of tower as in a chimney construction;
- height is considerable (80-200 m.); [construction height as obstacle for people, aviation, electronic transmissions and plumes];
- there is no energy requirement for fans, unless fan assisted, which enables lower heights;
- it is designed with counter flow and internal fill, or cross flow and external fill (see Figure 2.5 and Figure 2.6);
- it requires a base load operation, i.e. tower being in operation for more than 60 % of the year in operation
- it is generally applied for a rejected heat capacity of more than 200 MWth, i.e. large plants such as power stations or large chemical plants;
- it offers an option for desulphurized flue gas discharge, using the cooling tower as stack avoiding reheating of the flue gas required for environmental reasons;

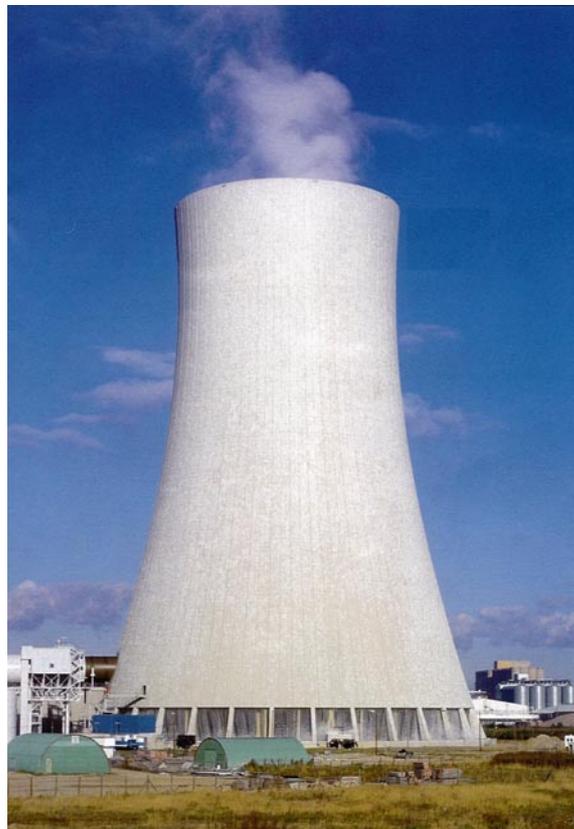


Figure 2.5: Natural draught wet cooling tower counter flow
[tm103, BDAG, 1996]

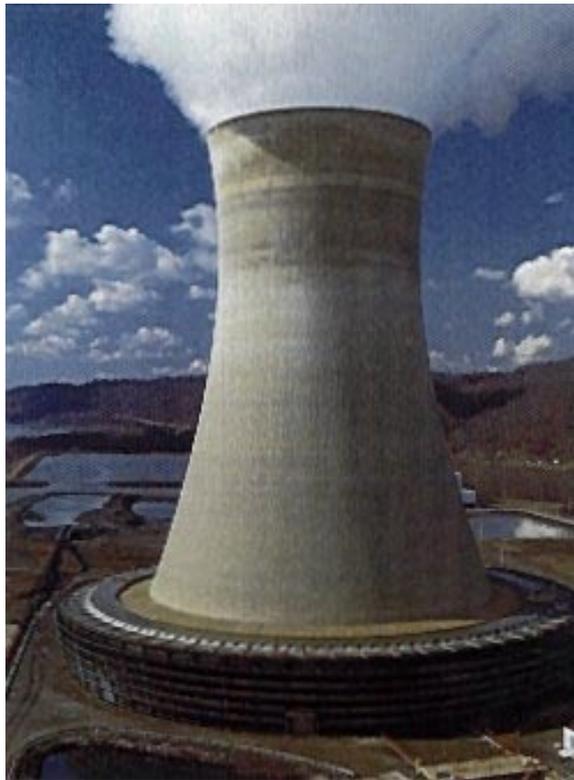


Figure 2.6: Natural draught wet cooling tower cross flow
[tm010, Betz, 1991]

2.4.2 Mechanical draught wet cooling towers

Construction

Mechanical draught cooling towers are applied in different types of constructions. A wide variety of materials is used for construction of these cooling towers, depending on size and type and the requirements with respect to the location, service life and capital expenditure. Larger ones can be built of reinforced concrete, smaller ones can vary considerably, but mostly consist of synthetic material, steel plate, clad steel constructions and in-situ or pre-cast concrete. For relatively smaller towers (5 MW_{th}) timber is still in use; it is cheaper, can be built at any time of the year and can be quicker to build than concrete towers.

It is also possible to use a modular system, i.e. several towers in parallel, in the same concrete structure. In this way the system can be operated in the most economical way, choosing the number of elements in operation, depending on ambient conditions and on the amount of heat.

Materials and type of construction and design affect the environmental performance of the cooling tower. Referring to shape and size or brand, a variety of names is used in the literature describing the use and application of these towers. Examples are the circular cooling tower and cell type cooling towers both in forced and induced draught designs.

Design of equipment for **water distribution, fill and drift elimination** can be different to that of the natural draught wet cooling tower, but the working principles are the same.

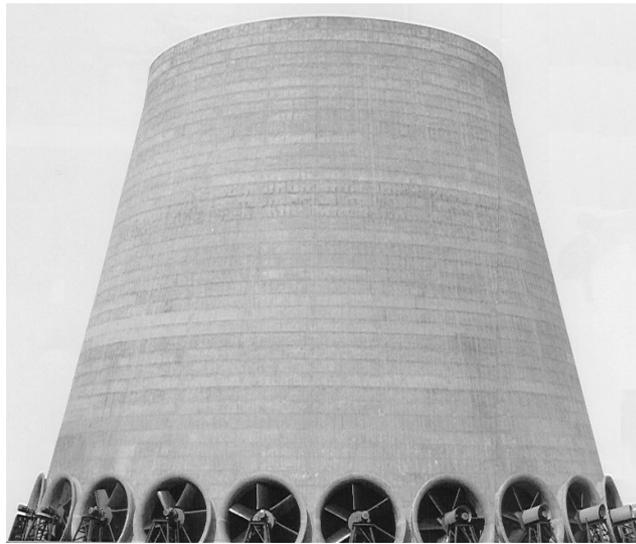


Figure 2.7: Fan assisted natural draught cooling tower
[tm103, BDAG, 1996]

Fans

Mechanical cooling towers use fans to create the airflow and consequently can be much smaller than the large natural draught type. A large number of different fan types is applied in mechanical cooling towers (dry, wet or hybrid). Depending on the requirements, fans vary in fan diameter, blade size and position (radial or axial). Additionally, one-speed or multi-speed drives enable flexible operation. The choice of the fan type and the drives will affect the energy demand and the sound emission level of the cooling tower. Depending on the way the airflow is created distinction is made between forced and induced towers.

The fan-assisted tower is a special design used in a number of cases where the local situation requires a lower tower.

2.4.2.1 Forced draught wet cooling towers

Characteristics of the forced draught cooling tower:

- fans at the base of the cooling tower push air through the tower;
- thermal performance is adjustable in steps or modulating;
- single-and multi-fan designs are applied;
- the cooling tower size is limited, requiring less space than a natural draught tower;
- tower can be adapted to surrounding terrain (rooftop installation);
- direct energy consumption is assumed to be low;
- it is usually designed with counter flow design;
- it can be designed for a wide variety of applications: for peak load and high heat rejection and from base load to medium load operating standard;
- it is applied for a rejected heat capacity from less than 100 kW_{th} to a heat capacity of more than approximately 100 MW_{th};
- capital investment is low compared to natural draught towers;
- when using mechanical draught cooling towers, regulations with regard to emission of noise, moisture (plume) and bacteria are to be observed.

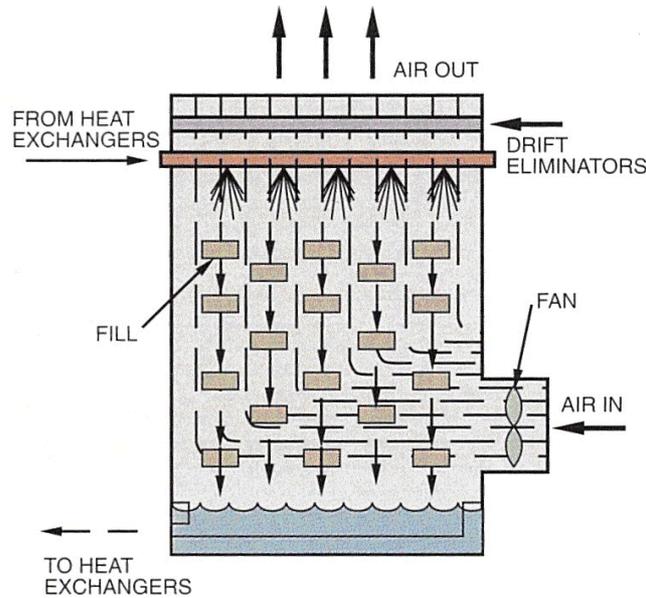


Figure 2.8: Schematic representation of a forced draught tower with counter flow design [tm010, Betz, 1991]

2.4.2.2 Induced draught wet cooling towers

Characteristics of the induced draught cooling tower:

- fans at the top of the cooling tower construction pull air through the tower;
- thermal performance is controllable within limits,
- a relatively simple construction is preferred (prefabricated elements, off-the-peg product),
- the cooling tower size is limited, requiring less space than a natural draught tower;
- cooling capacity can be enlarged by working with several sections
- tower can be adapted to surrounding terrain (rooftop construction);
- cost of direct energy consumption is assumed to be low,
- designed with counter flow or cross flow,
- it is used for a wide variety of applications: for peak load and high heat rejection and from base load to medium load operating standard; it is applied for a rejected heat capacity from approximately 100 MWth,
- capital investment is low compared to natural draught towers,
- when using mechanical draught cooling towers regulations with regard to emission of noise, moisture (plume) and bacteria are to be observed.

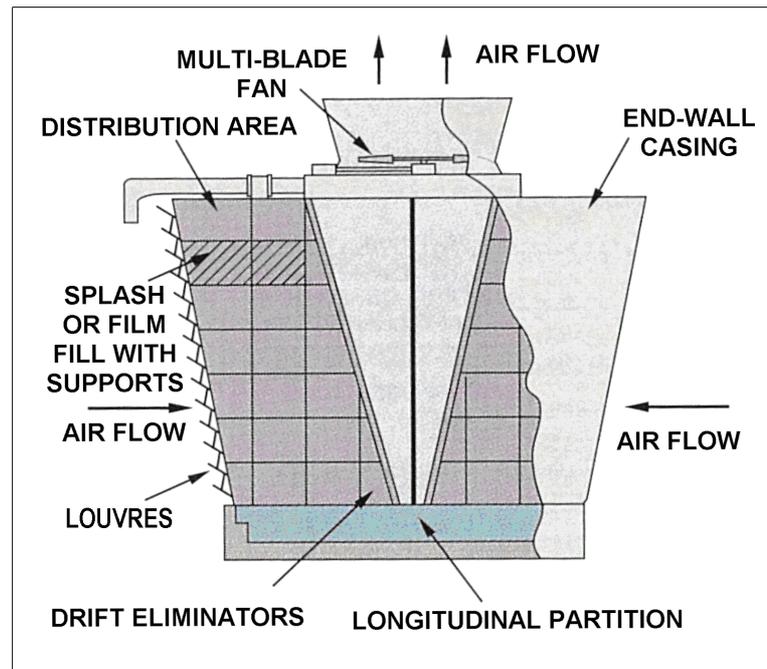


Figure 2.9: Schematic presentation of a cell type induced draught cooling tower, cross flow design [tm010, Betz, 1991]

2.5 Closed circuit cooling systems

2.5.1 Air-cooled cooling systems

In air-cooled cooling systems (or dry cooling systems) the substance (fluid, vapour) is circulated through coils, tubes or conduits, which are cooled by a passing air stream. Generally dry air cooling has the following applications:

- cooling of medium of nearly any chemical composition can be applied, requiring appropriate heat exchanger material only;
- in situations where cooling tower make-up water is not available or for a short period of time only and
- where formation of plume is not admissible.

Technical description

Depending on the application, closed circuit dry air-cooled systems consist of (finned) tube elements, coils or conduits of a condenser, fans with drives and a carrying steel construction or a tower. The process medium itself or a coolant (indirect system) is circulated through the tubes. An air stream is created, naturally or by fans, that flows past the tubes thus cooling the medium by conduction and convection. In almost all cases the air flows crosswise through the heat exchanger. The process medium passes the heat exchanger in a 'one-pass' or a 'multi-pass' configuration.

The process medium is a fluid, the cooling system is called an air-cooled fluid cooler. If a vapour (gas or refrigerant) is directly cooled down to condense to liquid, the cooling system is called an air-cooled condenser. Application can be in a mechanical or natural draught design.

A wide variety of corrosion-resistant materials is used for construction. The options for construction are numerous. Air cooling systems can be found as large independent units as well as smaller rooftop units. They can be horizontal, roof type rectangular, vertical or as a V-construction to suit the plant layout requirements.

Cooling capacity

In practice, air-cooling is often used to cool process flows at a high temperature level ($>80^{\circ}\text{C}$) down to a level at which water-cooling becomes more appropriate. The driving force of the heat exchange is the temperature difference between the cooling air and the process flow. The maximum design temperature of the cooling air may in practice only be exceeded a few hours per year. The design temperature depends on dry-bulb temperature and climatic conditions are very important.

Because the heat capacity of air is low (1.0 kJ/kg.K) and the coefficient of conduction and convection is low, a lot of air is needed and a larger heat exchanging surface is required than with water cooling. For this reason, fins are often placed on the pipe surface to increase the effective heat exchange surface. Based on economic considerations a minimum approach of $10\text{-}15^{\circ}\text{C}$ is used in the design of air coolers. This generally results in higher end temperatures (minimum $40\text{-}45^{\circ}\text{C}$), although in areas where higher ambient air temperatures occur, the approaches and the end temperatures exceed the average values mentioned in Table 2.1 and Table 2.2. For indirect configurations the approach ($13\text{-}20^{\circ}\text{C}$) and the achievable end temperatures ($50\text{-}60^{\circ}\text{C}$) will increase accordingly.

Environmental aspects

The major environmental aspects are noise and energy use for driving the fans. No water is being used, unless it is used as secondary coolant in an indirect design. However, being closed, this water requires little or no maintenance.

Cleaning of the outside of the (finned) tubes is necessary and sometimes problems can arise due to the accumulation of airborne debris and small insects.

Application

Dry air-cooled heat exchangers are applied in a wide variety of industries in small and large sizes. They are applied for product cooling in the chemical and petrochemical industries, for vacuum condensation in power stations and for exhaust cooling.

For the same capacity, dry air-cooling needs a larger surface than a wet cooling system and dry systems are generally considered to be more expensive. In the power industry, dry air-cooling is therefore considered in specific situations where power generation is planned at locations with insufficient water supply for wet cooling.

2.5.1.1 Natural draught dry cooling tower

Characteristics of a natural draught dry cooling tower are:

- base load operation, i.e. more than 60% of the year in operation,
- heat rejection more than 200 MWth, i.e. large plants such as power stations, large chemical plants, etc.,
- application in situations where absolutely noiseless operation is required,
- application in situations where cooling tower make-up water is not available or available for a short period of time only.

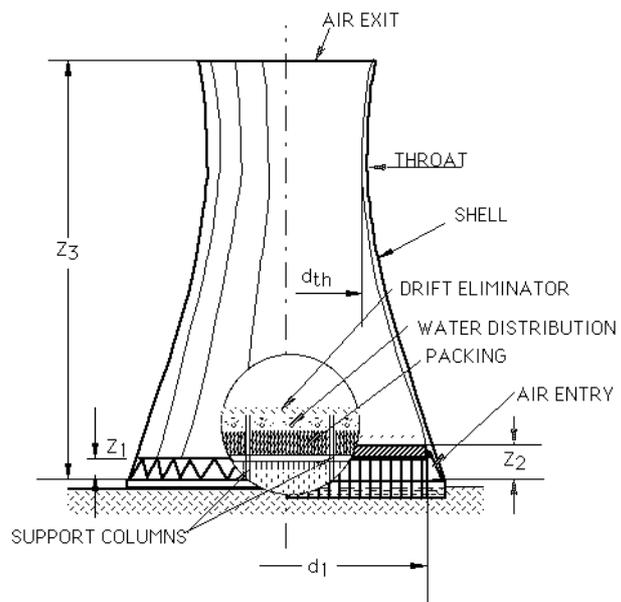


Figure 2.10: Schematic presentation of principle of a dry natural draught cooling tower [Eurovent, 2000]

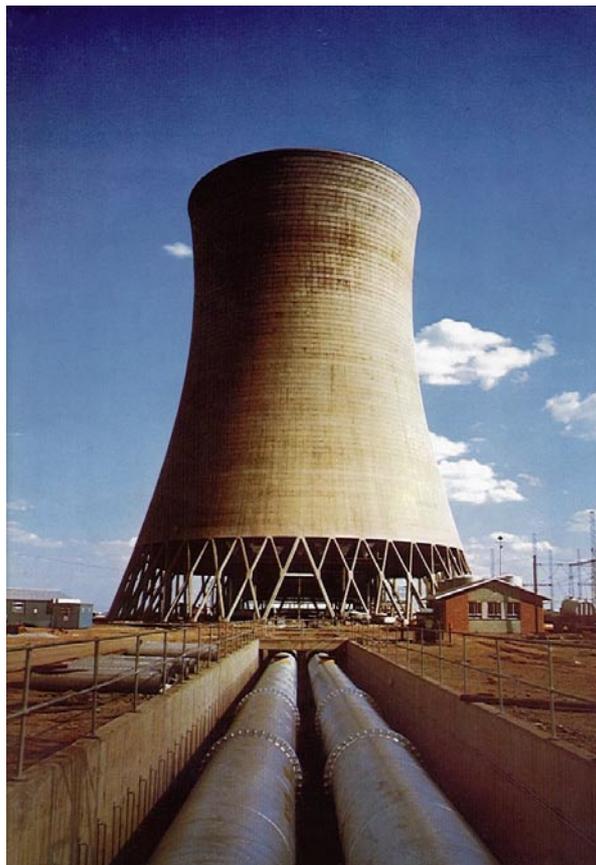


Figure 2.11: Example of natural draught dry cooling tower for a power plant application [VGB, 2000]

2.5.1.2 Air-cooled liquid cooling systems

Characteristics of an air-cooled liquid cooler tower are:

- thermal performance adjustable by fan control;
- closed circuit necessary;
- forced and induced draught both applied;
- cost of internal power consumption assumed to be higher than for wet cooling towers;
- low heat rejection, i.e. less than $100 \text{ MW}_{\text{th}}$;
- change in cooling medium temperature nearly linearly to the (dry bulb) air temperature must be acceptable for the process to be cooled;
- operating costs nearly entirely consisting of energy costs;
- environmental aspects in particular are noise and energy.

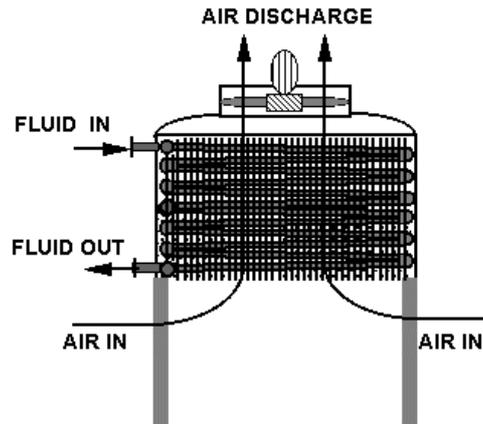


Figure 2.12: Schematic presentation of the principle of a dry air-cooled cooling system [Courtesy of Eurovent, 2000]



Figure 2.13: Example of a dry air-cooled liquid cooler in a chemical process [Pers. archive]

2.5.1.3 Air-cooled steam condensers

Air-cooled condensers (see Annex XII) are widely applied in the power industry and chemical plants for condensation of steam. The air is drawn in by fans under the condenser elements and pushed through. The passing air cools down the steam entering the condenser tube bundles (see Figure 2.14). In an indirect system the condenser is cooled by a cooling water stream which in turn is cooled in a natural draught cooling tower.

Characteristics of air-cooled steam condensers are:

- heat rejection for small to large installations,
- no cooling water needed,
- cost of direct energy consumption is assumed to be higher than for wet condensers or wet cooling towers,
- requires relatively low overall height,
- short exhaust steam pipes possible,
- considerable space requirement in the immediate vicinity of the steam generator,
- adaptation to load and temperature variations necessary over large ranges, which requires variable fan speed operation,
- environmental aspects in particular are noise and energy.

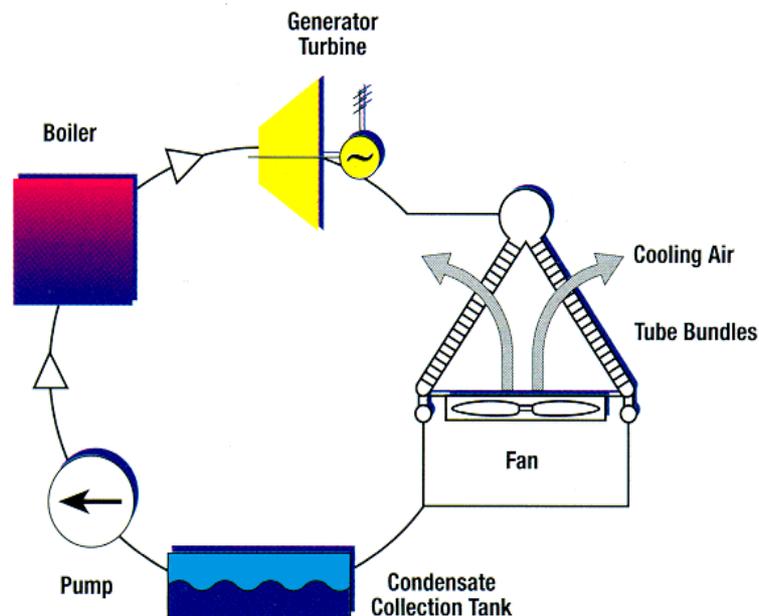


Figure 2.14: Schematic presentation of the principle of a direct air-cooled condenser [Balcke Dürr, 2000]



Figure 2.15: Example of an air-cooled condenser for condensation of turbine exhaust steam [tm111, BDAG, 1996]

2.5.2 Closed circuit wet cooling systems

In closed circuit cooling systems, the medium to be cooled is circulated in a closed circuit without contact with the environment. The medium is led through a coil (primary circuit). The coils are wetted from the outside (secondary or spray circuit). The heat is conducted from the medium to the spray water (sensible heat transfer). The evaporation of a small part of the water leads to evaporative cooling and the heat is transferred from the water to the air. There is an additional sensible heat transfer from the coil to the air. In practice at evaporative cooling sensible and latent heat transfer are always coupled. The wetting water is treated to avoid damage to the equipment. Evaporative losses, drift and windage cause concentration, so some de-sludging (blowdown) is needed and some make-up water has to be added.

Cooling capacity

The heat transfer capability is lower than for open systems due to the lower heat transfer capacity of the coil. By combinations of units, larger capacities of 150-400 kW_{th} to 2.5 MW_{th} can be achieved. Approaches of 4 K are typically achievable. The advantage is a contaminant-free closed primary cooling loop (true for all closed cooling), which in some cases eliminates the need for internal heat exchangers. In terms of resources, the energy requirements for the spray water loop have to be considered. With closed circuit cooling, end temperatures between 25-30°C are achievable, depending on the climatic conditions of the site [tm139, Eurovent, 1998]

Temperatures in the water film at heat exchanger surfaces are up to 5°C higher than the temperatures of the bulk water, which typically range from 40 to 50°C, although temperatures up to 70-80 °C can also be encountered in practice.

Environmental aspects

If closed circuit cooling systems use water as a secondary cooling medium, this is generally alkalised demineralised water or potable water. Residence times in these systems can be up to 6 months. Make-up water is needed only when leakage and evaporation have occurred at pump packings or when water has been drained to allow system repairs. Because only little make-up water is needed, this can usually be of high quality, and as a result, scale deposits are not a problem. Scaling can be caused by the water used on the outside of the tubes or coils and treatment (cleaning) may be needed. [tm101, Betz, 1991]. Depending on the technical concept, the mode of operation and the climatic conditions, plume formation may occur. Water can be

saved, as the tower can be operated as a dry tower when the ambient temperatures are low. Fan noise may be an issue.

Application

Closed circuit cooling systems are used in many applications. They are well suited to the cooling of gas engines and compressors and can provide a reliable method of industrial process temperature control [tm010, Betz, 1991]. They can be applied for both large and small applications. Applications can be found as liquid coolers (e.g. lubricating oils, cooling water for compressors), as gas coolers (e.g. diesel engines, process gas) and as air-cooled condensers (combined cycle plants, steam turbines).

If the process medium in the coil or tubes is a vapour (gas or refrigerant) to be cooled down to condense into liquid, this cooling system is also called an evaporative condenser.

2.5.2.1 Mechanical draught wet closed circuit cooling systems

Characteristics of the mechanical draught wet closed circuit cooling systems:

- heat rejection for small to large installations,
- low cooling temperatures can be achieved,
- compact design compared to air-cooled equipment,
- low energy requirements,
- need for water supply and spray water circuit,
- plume suppression achievable by air discharge plume abatement coils and/or dry operation in winter,
- environmental aspects, in particular water treatment and effluent disposal.

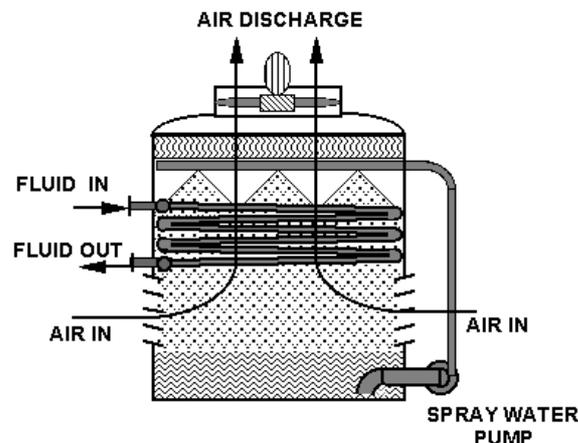


Figure 2.16: Schematic presentation of the principle of a closed recirculating wet cooling tower with induced draught
[Eurovent, 2000]

2.5.2.2 Evaporative steam condensers

Characteristics of evaporative steam condensers:

- heat rejection for medium to large installations,
- lower condensing temperatures than with air-cooled steam condensers,
- low energy requirements,
- generally higher than air-cooled steam condensers but with a smaller footprint,
- environmental aspects in particular are water treatment and effluent disposal.

2.6 Combined wet/dry cooling systems

2.6.1 Open wet/dry (hybrid) cooling towers

Technical description

The open wet/dry cooling tower or hybrid cooling tower is a special design that has been developed as an important solution to the problem of cooling water use and of plume formation. It is a combination of a 'wet' and 'dry' cooling tower or, in other words, of an evaporative and a non-evaporative process. The hybrid cooling tower can be operated either as a pure wet cooling tower or as a combined wet/dry cooling tower, depending on the ambient temperature. The heated cooling water first passes through a dry section of the cooling tower, where part of the heat load is removed by an air current, which is often induced by a fan. After passing the dry section, water is further cooled in the wet section of the tower, which functions similarly to an open recirculating tower. The heated air from the dry section is mixed with the vapour from the wet section in the upper part of the tower, thus lowering the relative humidity before the air current leaves the cooling tower, which (almost) completely reduces plume formation above the tower.

Optimising the effect of a hybrid cooling tower means optimising the amount of dry heat transfer to meet the plume control requirements. At the same time the wet section is being used for the major part of the cooling.

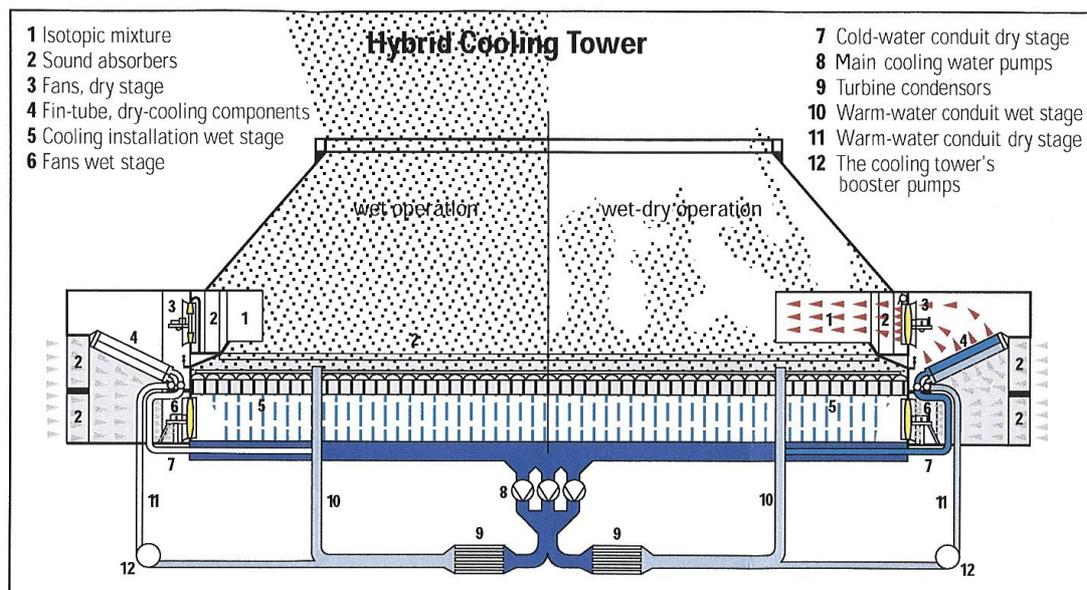


Figure 2.17: Schematic representation of hybrid cooling tower principle (example applied in power industry)

[Eurelectric, 1999]

Characteristics of open hybrid cooling towers are:

- base load and partial load operation for all capacities
- cooling medium being water only
- cooling tower make-up water required for most of the operating time
- thermal performance being the same as in the case of wet cooling towers
- reduction in make-up water quantity
- regulations for environmental protection, e.g. reduction in overall height (due to fan assistance) and plume abatement
- sound attenuation equipment required due to noise regulations.

To operate a hybrid cooling tower efficiently a number of devices are used:

- variable speed fans
- closing devices for air inlet openings (such as louvres or sliding gates)
- valves for water flows to the wet and dry sections
- bypass systems
- booster pumps (for special constructions)
- system for mixing of the wet plume with dry plume.

Hybrid tower construction

Currently only mechanical draught type hybrid cooling towers are available. The hybrid cooling tower is different from the characteristic open wet tower design in that it has a dry and a wet section, each with its own air inlet and corresponding fans. Hybrid cooling towers can be found as package cooling towers, large round cooling towers with forced draught fans or as cell-type cooling towers with induced draught fans. Fill, water distribution system, drift elimination, and sound attenuation are features common to both tower designs.

Wet/dry cooling towers of the mechanical draught type are fitted with internal mixing systems to mix the wet and dry airflows. They can be automatically controlled according to the heat load, water flow, ambient air and plume conditions.

Cooling capacity

They can be built as package cooling towers, induced draught or forced draught cooling towers and – on a larger scale - as cooling towers of the cellular type or circular type with the heat rejection ranging from $< 1 \text{ MW}_{\text{th}}$ up to $2500 \text{ MW}_{\text{th}}$.

Environmental aspects

The major difference between a hybrid cooling tower and a conventional cooling tower is its comparatively lower water use (which is make-up water) amounting to 20% less than that of a wet cooling tower [tm132, Eurelectric, 1998].

The resulting annual energy consumption of a mechanical draught hybrid cooling tower can be reduced to a level of 1.1 to 1.5 times that of a comparable mechanical draught wet cooling tower since in nominal conditions, airflow is almost double (wet and dry sections). Natural draught cooling towers of the wet/dry design are under consideration.

Application

A decision to install a hybrid cooling tower is made in the light of site-specific requirements (limitation of height and plume reduction) and several can be found in the power industry, especially in Germany and in United Kingdom (in cogeneration systems). Its use is restricted to temperature ranges of 25-55°C, because above 55°C precipitation of calcium carbonate is observed to occur more easily on the tubes. This does not mean that no precipitation occurs below 55°C and some care must be taken in using this as a rule of thumb.

2.6.2 Closed circuit hybrid cooling systems

Technical description

For closed circuit cooling hybrid systems, characteristics can be described in a similar way as for closed recirculating wet cooling systems concerning fans (axial and radial), airflow direction (cross or counterflow) and noise abatement systems (see § 2.4). Generally, these units have a small space requirement. Three technical modes can be applied to closed circuit hybrid cooling towers: sprayed finned coils, adiabatic cooling or combined systems.

Environmental aspects

Closed circuit hybrid cooling towers combine the advantages of closed loop cooling with significant savings of water when compared to conventional closed circuit wet cooling towers.

Compared to closed circuit dry cooling towers they offer the advantage of lower cooling temperatures. In terms of size, energy consumption and noise emission they compare with conventional closed circuit wet cooling towers. Depending on their design (sprayed finned coils) special attention may need to be paid to the quality of the water treatment. Additional costs can be more than offset by the significant saving of water, as such products require the use of water only during a very short period of the year. Closed circuit hybrid coolers also significantly suppress and, in some designs, even eliminate plume formation.

2.6.2.1 Sprayed (finned) coils

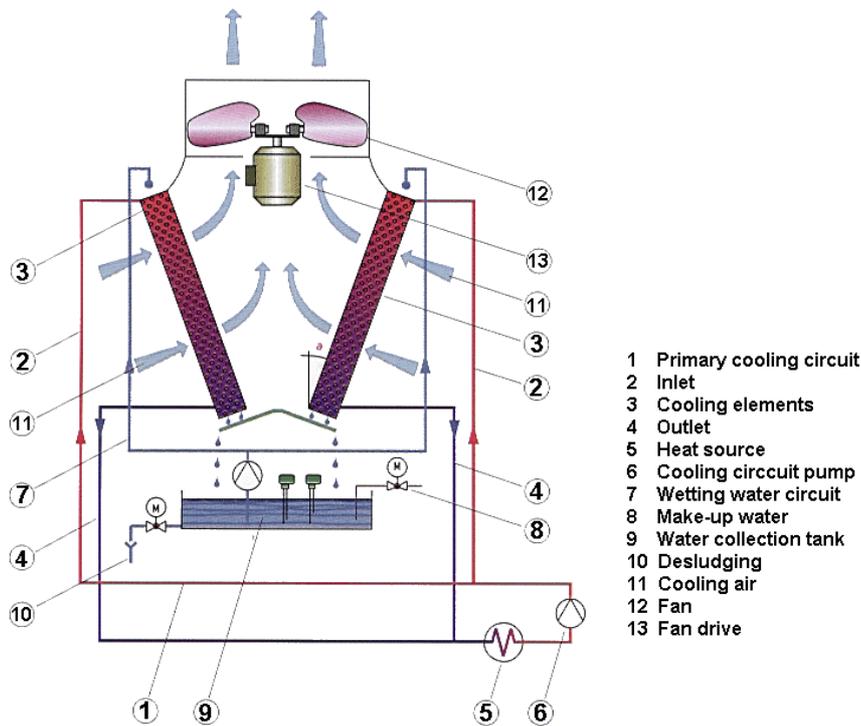


Figure 2.18: Schematic presentation of the principle of a closed circuit hybrid cooling tower

In a closed circuit cooling tower the process medium runs through cooling elements (a tube/plate bank or the finned coil) in a closed loop, the primary cooling circuit. These cooling elements are wetted via a secondary water circuit and air is simultaneously moved over the elements to create evaporative heat. The cooling water that runs off the elements is collected in a basin and can be recirculated a number of times, sometimes using another cooling tower or after blowdown (see Figure 2.19). In an indirect configuration, the medium that runs through the primary cooling circuit is not the process medium but another coolant which in turn cools the process medium in a second heat exchanger.

2.6.2.2 Adiabatic coolers, wetting and pre-cooling the air that cools the coils

In the adiabatic mode the fluid to be cooled bypasses the prime surface coil. The cooling water trickles down the wet deck and the air passing the deck is wetted with as much moisture as it can take up. The wetted air passes the finned coils and will take up more heat than dry air would do. Compared to conventional evaporative cooling equipment the water consumption is much reduced. (See Figure 2.19)

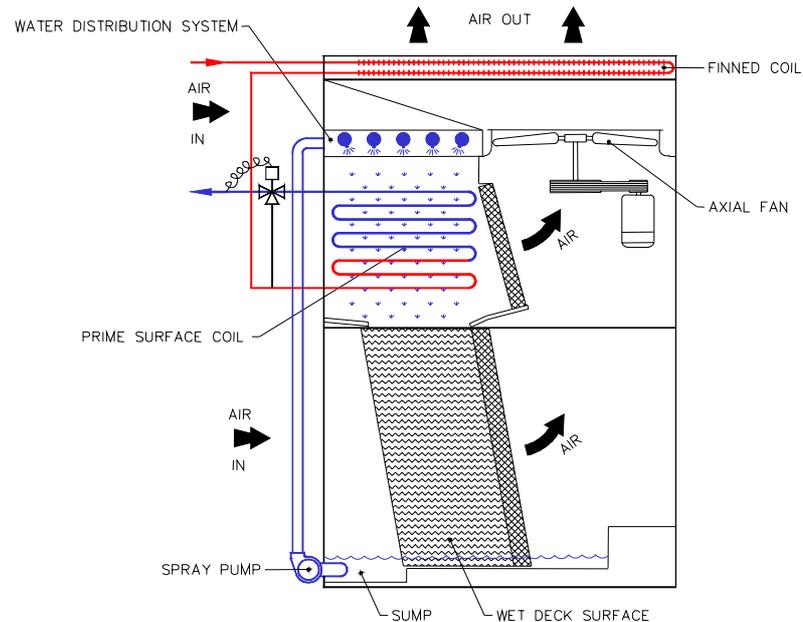


Figure 2.19: Combined dry/wet operation of a hybrid cooling system
[tm151, BAC, 1999]

2.6.2.3 Combined technology

In combined technology the finned coils, the sprayed prime surface coil and the wet deck are all used. In the dry mode it is then possible to close all water sprays and lead the medium to be cooled through both the finned coils and the prime surface coils, both cooled by dry air only. In the wet/dry mode the medium after passing the dry coils passes the sprayed prime surface coils before returning to the process as cooled medium. The warmed water trickling down from the prime coils will fall over the wet deck surface. Air is drawn in and passes both the prime surface coil and wet deck surface, where it is saturated and picks up heat. As it passes the finned coil more heat can be picked up (see also Figure 2.19).

2.6.2.4 Costs of hybrid systems

In the application of hybrid systems reference is always made to the investment and operating costs involved. In general hybrid systems require higher investment costs. Costs of plume suppression vary depending on the cooling system. Compared to a cooling tower with the same cooling performance, Fluor [1995] calculated that for an open wet cooling tower installation of 300 MW the cooling installation costs are about 2.5 times as high as for cooling towers without plume suppression. For closed circuit wet cooling towers, costs for plume suppression are reported to be 1.5 to 2 times as high as for towers without plume suppression (Eurovent). The costs have to be adjusted for cost savings on water intake and operational flexibility. The annual costs for water, including water treatment and electricity can represent in some cases just about 10 % of the annual costs of a cooling tower. These economic considerations depend of course on the individual application and the prices of water and energy [tm139, Eurovent, 1998]
Cost indications by the power industry show levels of EUR 40000 to 70000 per MW_{th} for mechanical draught type hybrid cooling towers. In this sector this means an installation cost level of 1.3-1.6 times that of towers of similar capacity without plume suppression.

2.7 Recirculating cooling systems

The descriptions given above of major cooling configurations explain the cooling principles and the different associated technical designs that are applied in industry, depending on requirements of process, site and environment. Some key definitions have been explained in the introduction as well as the difference between dry and evaporative cooling, and between open and closed systems is used in the systems' descriptions. The application of the criteria direct and indirect, however, can lead to much confusion if they are not defined in the context of recirculating cooling systems.

2.7.1 Direct recirculating cooling systems

As stated earlier, in direct cooling systems there is only one heat exchanger level where coolant and process medium exchange heat and where the coolant (water or air) is in contact with the environment. Leakage through the wall between process medium and coolant (air or water) would therefore mean that process medium is discharged into the environment or that, in vacuum conditions (condensers), the process is affected. Thus, although the cooling of the coolant as it is done in a cooling tower is also a process of heat exchange, it is still considered a direct system.

The example of the open cooling tower cooling the water circuit of a water-cooled condenser is therefore a direct system (although, as mentioned, leakage will affect the process rather than the coolant).

2.7.2 Indirect recirculating cooling systems

The key element to define an indirect system would be that leakage of the process would not contaminate the coolant that is in open connection with the environment. This means two levels of cooling.

In the case of an open recirculating cooling tower, the water leaving the tower would exchange heat in a heat exchanger with water that is in a closed loop. The water in the closed loop will leave this heat exchanger to enter another heat exchanger, where it exchanges heat with the process medium.

In closed recirculating cooling towers the same principle is followed and the coils or tubes are filled with water, which is cooled by water and /or air. The cooled water enters a heat exchanger or a condenser within process to exchange heat with the process medium.

Where closed recirculating cooling systems operate in winter and need protection against freezing, the closed circle usually contains not just water, but also a refrigerant or water mixed with anti-freeze. In fact, those systems can again be classified as direct systems as the refrigerant could pollute the cooling medium, which is in open contact with the environment.

2.8 Costs of cooling systems

For each configuration a cost indication has been given, but calculations made of the costs of cooling systems show a wide variation and it can be concluded that the differences in costs between the different systems do not necessarily indicate the least expensive variant. Of the different factors that in the end influence the costs, the users' requirements and the legal requirements are very important. For this reason an estimate of the feasibility of a system or the application of a technique should be made for each individual case. Energy prices always have to be taken into account. They will be important, for instance, in those cases where heat recovery is being considered.

An important aspect in calculating the costs of a cooling system and of the possible improvements is the comparison between the initial investment costs of a system or an applied measure and the resulting annual costs. In practice, high investment costs can lead to lower maintenance costs, but also to higher annual fixed costs, which can be an obstacle to investment itself. For the sake of comparison, costs also have to be expressed in terms of the heat capacity the system is designed for (kW_{th} or MW_{th}).

For industrial (non-power plant) applications [tm001, Bloemkolk, 1997] listed a number of cost-determining elements for both water-cooled and air-cooled systems, calculated total costs and compared the different systems. The elements and the approach followed are explained below and the results have been summarised in Annex X. For power plants a different model applies, which is explained in Annex XII.

Elements

Generally the following cost-determining elements have to be taken into account:

Table 2.3: Cost elements for water and air cooling systems
[tm001, Bloemkolk, 1997]

Cost type	Cost elements	Water cooling systems	Air cooling systems
Fixed	Heat exchanger(s) (type, size and model)	x	x
	Heat exchanger (material)	x	x
	Pipelines in process, tube-bridges	x	x
	Pumps/reserve pumps	x	x
	Inlet facilities	x	
	Tube intake/drainage	x	
	Outflow facilities	x	
	Cooling tower(s) (possible)	x	x
	Fans	x	x
	Sound attenuation	x	x
	Indirect system (extra heat exchanger, pipes, pumps)	x	x
Variable	Water (groundwater, tap water)	x	
	Water discharge fee	x	
	Leakage monitoring	x	x
	Water conditioning	x	
	Energy consumption (pumps and fans)	x	x
	Maintenance	x	x

Methodology

Different methodologies have been developed for cost comparisons between different cooling systems. The method used is described briefly in Annex X.

Comparisons

Comparisons should always be made based on the same operational conditions and for the same capacity and expressed per MW_{th} dissipated.

Calculations have shown that cost sensitivity is to a large extent determined by the investment level and the consumption of energy. The variation in the costs of heat exchangers (shell & tube) due to the chosen configuration and to the choice of material is very important. Cheap materials and models determine the calculated lower limits. Special materials determine the upper limit. It should not be forgotten here that good materials could considerably decrease the costs of maintenance and operating and of the use of chemicals.

Calculated as annual costs, investments and operational costs differ significantly. Factors such as (make-up) water requirement and price, and energy consumption are influential. The choice of material also has consequences for the annual costs. Where dry air-cooling is applied, the achievable end temperature is important and the lower the required end temperature, the more expensive air-cooling will become. With water cooling, the low endtemperature is less important for cost estimations, unless small approaches are used in the calculation.

Table X.2 in Annex X shows the ranges of costs of various large industrial cooling systems. From the data used in this method the operational costs of an open wet cooling tower were shown to be higher than for dry air-cooling. The investment costs for air cooling, on the other hand, were generally higher than for the other systems. It further suggests that, particularly with cooling water systems, higher investment can mean lower operational costs (maintenance, conditioning).

On the basis of the above data, it can be concluded that the cost differences between different systems do not necessarily indicate the least expensive variant. This clearly depends on the users' requirements and the requirements on emission levels set by the authorities. For this reason an estimate of what is feasible should be made for each individual case. The above data can be used as initial (general) indications and are illustrated in Annex X.

3 UMWELTASPEKTE BEI INDUSTRIELLEN KÜHLSYSTEMEN UND VERWENDETE VERFAHREN ZUR VERMEIDUNG UND VERMINDERUNG

3.1 Einleitung

Die Umweltaspekte bei industriellen Kühlsystemen unterscheiden sich für jede der in Kapitel 2 beschriebenen Konfigurationen. Unmittelbarer und mittelbarer Energieverbrauch, Emission von Wärme und Kühlwasserzusätze zum Oberflächenwasser, Geräusch- und Schwadenbildung sind Umweltaspekte von Kühlsystemen. In jedem Fall ist die umweltbezogene Bedeutung dieser Fragen (z.B. Geräusch) immer im Licht der gesamten Umwattleistung, einschließlich des zu kühlenden industriellen Prozesses zu betrachten. Nicht alle Fragen sind für jedes System von gleicher Bedeutung, wie z.B. Wasserbedarf und Schwadenbildung, die bei Trockenkühlsystemen keine Rolle spielen. Die potentiell relevanten Fragen, die vom Ersteller des Genehmigungsbescheids bei der Beurteilung des industriellen Kühlsystems in Betracht gezogen werden sollten, sind qualitativ beschrieben und zusammengefasst in Tabelle 3.1. Offensichtlich werden dort, wo die entsprechenden Maßnahmen ergriffen werden, Fragen weniger relevant; dies wurde jedoch in dieser Tabelle nicht in Betracht gezogen, da dies in den folgenden Kapiteln Teil der Diskussion sein wird. Die Art und das Niveau der Emissionen in die Umgebung sind nicht nur das Ergebnis der verwendeten Konfiguration, sondern hängen weitgehend davon ab, wie das System betrieben wird und davon, wie die zum Betrieb eines Kühlsystems benötigten Ressourcen gehandhabt werden.

Dieses Kapitel erörtert die Umweltaspekte und die mikrobiologischen Risiken (oder Gesundheitsrisiken), die man vielleicht in Betracht ziehen muss, wenn ein Antrag auf eine Genehmigung zu prüfen ist. Gleichzeitig werden die Prinzipien der Verfahren beschrieben, die bei der Festlegung der BVT zu berücksichtigen sind. In vielen Fällen wird das Kühlsystem eine bestehende Anlage sein und es ist offensichtlich, dass die Optionen für Verbesserungen im Vergleich zu Situationen auf der grünen Wiese begrenzt sind. Im Allgemeinen können die Auslegung des Prozesses und die Auswahl der geeigneten Kühltechnologie und deren Auslegung Verbräuche reduzieren und viel von den Emissionen in die Umgebung vermeiden. In Einzelfällen kann es davon abhängen, wie man die Prioritäten dafür setzt, was man tun sollte oder tun kann, wenn die örtliche Spezifität eine größere Rolle spielt.

Um die BVT zu bestimmen, wird der BVT-Ansatz separat für jede Umweltfrage und jedes Verfahren beschrieben. Dabei werden potentielle medienübergreifende Wirkungen berücksichtigt. Die Auswertung folgt dem allgemeinen, in Kapitel 1 skizzierten Ansatz. Sie beginnt mit der Verminderung des Bedarfs an Kühlung und des Ausstoßes von Wärme in die Umgebung. Darauf folgt die Auswertung von Optionen für die Minimierung der Ressourcen, die speziell für die Vermeidung oder Verminderung von Emissionen vorgesehen sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese auch zu einem einfacheren Betrieb des Kühlungsprozesses führen:

1. Vermeidung durch technologische Optionen:
 - integrierte technische Maßnahmen
 - Änderung der Konfiguration
2. Vermeidung durch Optimierung des Systembetriebs
3. Einsatz der End-of-pipe Technologie oder zusätzlicher Verfahren.

Die Implikationen jeder Option für die Umwelt werden diskutiert und jedes Verfahren wird in seiner Auswirkung auf den gesamten Energieverbrauch ausgewertet. Zuerst wird dargestellt, wie Änderungen im Kühlungsbetrieb sich auf den Energieverbrauch auswirken können. In den Anlagen werden dann Informationen über besondere Verfahren und deren Leistungen bereitgestellt.

Tabelle 3.1: Umweltaspekte der verschiedenen industriellen Kühlsysteme [fm001, Bloemkolk, 1997]

Kühlsystem	Energieverbrauch (direkt) (§ 3.2)	Wasserbedarf (§ 3.3) ⁽¹⁾	Einzug von Fischen ⁽²⁾ (§ 3.3)	Emissionen in das Oberflächengewässer (§ 3.4)		Luft-emissionen (direkt) (§ 3.5)	Schwadenbildung (§ 3.5)	Lärm (§ 3.6)	Risiken (§ 3.7)		Abfälle (§ 3.8)
				Wärme (§ 3.3)	Zusätze (Biozide)				Leckage	Mikro biol. Risiko Gesundh.	
Durchlaufkühlung	Gering	++	+	++	+	--	--	--	++	--/gering	+ ⁽⁶⁾
Durchlaufkühlung mit sekundärem Kühlkreislauf	Gering	++	+	++	+	--	--	--	Gering	--/gering	+ ⁽⁶⁾
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf	+	+	--	Gering	+ ⁽³⁾	Gering (in Schwaden)	+	+	+	+	--/gering
Nasskühlturm mit offenem primärem und einem sekundärem Kühlkreislauf	+	+	--	Gering	+ ⁽³⁾	Gering (in Schwaden)	+	+	Gering	+	+
Hybridkühlturm mit offenem Kühlkreislauf	+	Gering	--	Gering	Gering ⁽³⁾	--	-- ⁽⁵⁾	+	Gering	?	+
Nasskühlturm mit geschl. Kühlkreislauf (separate Wasserzuführung)	+	+	--	--	Gering	Gering ⁽⁴⁾ (in Schwaden)	--	+	Gering	Gering	--/gering
Trockenkühlturm m. geschl. Kühlkreislauf	++	--	--	--	--	--/gering	--	++	Gering	--	--
Hybridkühlturm mit geschl. Kühlkreislauf (separate Wasserzuführung)	+	Gering	--	--	Gering ⁽³⁾	Gering	--	Gering	Gering	Gering	--/gering

Anmerkungen:
 -- keine/ nicht relevant
 Gering Relevanz unter Durchschnitt
 + relevant
 ++ hoch relevant
 1: Paragraph im Text
 2: Andere Spezies können auch mitgerissen werden.
 3: Biozide, Kesselsteininhibitoren, Korrosionsinhibitoren
 4: möglicherweise im Fall von Leckage
 5: kein Problem, wenn ordnungsgemäß betrieben
 6: Abfall bezieht sich auf Schlamm aus dem Wassereinflauf und der Enthärtung

3.2 Energieverbrauch

Unter Energiebedarf von industriellen Kühlsystemen kann der direkte oder der indirekte Verbrauch verstanden werden. Der direkte Verbrauch ist die Verwendung von Energie zum Betrieb des Kühlsystems. Pumpen und Ventilatoren sind die größeren Energieverbraucher. Je größer der Widerstand ist, der ausgeglichen werden muss, um die erforderliche Luft- oder Wasserströmung aufrechtzuerhalten, um so mehr Energie braucht ein Kühlsystem.

Falls es nicht ordnungsgemäß betrieben wird, kann ein Kühlsystem indirekt für eine erhöhte Zufuhr von Energie oder Rohmaterial in den Produktionsprozess verantwortlich sein. Um jegliche Änderung an einem Kühlsystem zu bewerten, muss die gesamte Energiebilanz sowohl des Kühlsystems als auch der Produktionsprozesse berücksichtigt werden.

3.2.1 Direkter Energieverbrauch

Energie in Kühlsystemen wird zum Pumpen des Kühlwassers und/oder zum Erzeugen der Luftströmung benötigt. Sie wird im spezifischen Energieverbrauch ausgedrückt als kW_e pro MW_{th} abgeführter Wärme. Der spezifische Energieverbrauch kann stark schwanken und ist abhängig von der Konfiguration des eingesetzten Kühlsystems (Auslegung (Kühlgrenzabstand-Temperatur), Pumpdruck) und Betriebsart (ganzjährig, nur im Sommer oder Winter). Lokale Umstände verursachen ebenfalls Schwankungen, wobei das gleiche Kühlsystem in wärmeren Klimazonen typischerweise eine höhere Energiezufuhr benötigt als in kühleren Klimazonen. In einigen Fällen wird Energie für die Herstellung von Zusätzen vor Ort benötigt. Die größeren Energieverbraucher in einem Kühlsystem sind:

- Pumpen (eingesetzt in allen Systemen mit Kühlwasser) sowohl für den Wassereinlauf als auch die Zirkulation des Kühlwassers:
 - Ihr Energiebedarf wird bestimmt durch die Fließgeschwindigkeit, die zu pumpende Wassermenge, Druckabfall im Prozess (Anzahl der Wärmetauscher, Auslegung), Stelle, an der das Kühlwasser zugeführt wird und abläuft und das zu pumpende Medium (Gas, Flüssigkeit, Feststoff).
 - Indirekte Systeme (Systeme mit sekundärem Kühlkreislauf) haben zwei Kreisläufe und benötigen deshalb mehr Pumpen.
 - Beim Einsatz eines Kühlturms ist die Hubhöhe größer. Dies erfordert mehr Energie im Vergleich zu einem Durchlaufsystem.
- Ventilatoren werden in allen mechanischen Kühltürmen und mechanisch gekühlten Kondensatoren eingesetzt:
 - Ihr Energieverbrauch wird bestimmt durch die Anzahl, die Größe und den Typ der Ventilatoren und den Luftdurchsatz,
 - trockene Systeme benötigen im Allgemeinen mehr Luft für die gleiche Kühlleistung als Verdunstungs- (nasse) Systeme, obwohl dies nicht notwendigerweise zu einem höheren Energieverbrauch führt..

Energieverbrauch von zugeordneten Aktivitäten

Bei einer Gesamtbewertung des Energiebedarfs von Kühlsystemen sind Zusatzgeräte, die zum Betrieb eines Kühlsystems wesentlich sind, einzubeziehen. Hierzu wurden nicht viele Daten berichtet. Als typisches Beispiel wird die Herstellung von Wirkstoffen für Kühlwasser vor Ort, z.B. Ozon, berichtet, wo die Herstellung von 1 kg Ozon, das für die Verhinderung von Biofouling verwendet wird, je nach Generator zwischen 7 und 20 kWh schwankt. Wenn eine erforderliche Mindestkonzentration am Eingabepunkt von zwischen 0,5 und 1 g O_3/m^3 und das Kühlwasservolumen vorliegt, so ist es möglich, den Energiebedarf zu schätzen.

3.2.2 Indirekter Energieverbrauch

Der Energieverbrauch des Produktionsprozesses wird als indirekter Energieverbrauch bezeichnet, der durch den Kühlprozess verursacht wird. Bei ineffizienter Kühlung steigt der Verbrauch. Eine niedrigere Wärmeübertragung (z.B. wegen Fouling) steigert die Temperatur auf der Seite des Prozesses, benötigt mehr Energie, die vor Ort oder außerhalb erzeugt werden muss. Ineffizienz bei der Kühlung führt zum Verlust am Produkt und reduziert die Effizienz des Prozesses.

In 1.2.1 und 1.4.3 werden die Auswirkungen auf temperaturempfindliche Anwendungen diskutiert. Wegen der verringerten Kühlung des Kondensators kann die gesamte Energieumwandlung um 0,25 % verringert werden. Dies entspricht einer Verringerung der Effizienz um rund 0,4 % pro Grad Celsius. Falls ein offener Nasskühlturm anstatt eines Durchlaufsystems eingesetzt wird, was zum Beispiel zu einer um 5°C höheren Endtemperatur führt, werden maximal 2 % weniger Energie erzeugt. Falls die Unterschiede in der für den Kühlturm erforderlichen Pumpenergie berücksichtigt würden (das sind 6-8 kW_e pro MW_{th} gekühlt), so würde dies ein zusätzliches Prozent an Verlust verursachen. Bei einem herkömmlichen Kohlekraftwerk würde eine derartige Abnahme um 1 % bedeuten, dass der Wirkungsgrad von 40 % auf 39,6 % abfiele.

Die Auswertung der Umweltbelastungen durch Kühlung sollte die Auswertung des indirekten Energieverbrauchs einschließen. Die Folgen der Änderung des indirekten Energieverbrauchs auf den gesamten Energieverbrauch können als Temperaturanstieg auf der Seite des Prozesses wegen der weniger als optimalen Kühlung ausgedrückt werden. Dies wurde für die größeren Kühlkonfigurationen [tm059, Paping, 1995] berechnet und verglichen. Die Daten in Tabelle 3.2 stellen den direkten und indirekten Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen für jede Kühlkonfiguration dar. Die drei Variablen werden als lineare Funktion der drei folgenden Auslegungsparameter angesehen:

- Kühlwasser-Durchflussmenge
- Pumpdruck
- Pumpeffizienz (umgekehrt proportional)

In diesem Beispiel werden die Daten mit einem Durchlaufsystem als Bezugssystem für jedes der Kühlprinzipien berechnet. Das Durchlaufsystem hat eine Kapazität von 100 m³/h pro MW_{th} (oder 8,6°C pro MW_{th}) und benötigt einen Druck von 3 bar, um das Wasser auf die erforderliche Höhe zu pumpen. Dies erfordert ca. 10 kW_e/MW_{th}/Jahr bei einer Pumpeffizienz von 75 %. Bei dem indirekten Durchlaufsystem kommt es zu einem Druckabfall und 4,5 bar müssen zusätzlich erzeugt werden; dies erfordert 15 kW_e/MW_{th}. Ein Kühlturmsystem benötigt zusätzliche Energie, um das Wasser z.B. 8 m in die Höhe zu fördern und zusätzlich rund 7 Meter Wassersäule Druckabfall (MWS) über die Düsen. Im Vergleich zu einem Durchlaufsystem benötigt dies zusätzliche 4,5 bar und 15 kW_e/MW_{th}.

Man geht davon aus, dass Ventilatoren 15 kW_e/MW_{th} benötigen. Falls sie nur im Sommer (4 Monate) betrieben werden, entspricht die durchschnittlich erforderliche Energie 5 kW_e/MW_{th}.

In der gleichen Tabelle wird der indirekte Energieverbrauch als Funktion einer erhöhten Kühlwasser-Einlauftemperatur dargestellt. Diese führt zu einer erhöhten Temperatur auf der Prozess-Seite. Der Faktor, der diese Erhöhung darstellt, wird berechnet als 1,4 kW_e/MW_{th}°C (siehe Anlage II). Dies bedeutet, dass bei einem Temperaturanstieg pro Grad auf der Prozess-Seite die erforderliche Energie um einen Faktor von 1,4 steigt.

Kennt man den gesamten Energieverbrauch für jede Kühlkonfiguration, so ist es möglich, diesen Verbrauch in Richtwerten von emittiertem CO₂ pro ausgestoßenen MW_{th} zum Ausdruck zu bringen. Die Energie kann berechnet werden, die in der Stromerzeugung zur Produktion der von einer Kühlanlage verbrauchten Energie erforderlich ist. Mit einem angenommenen Wirkungsgrad von 40 % der Stromerzeugung muss jede kW_e der Eingangsenergie mit 2,5 multipliziert werden; sie bringt damit die Energie zum Ausdruck, die zum Ausstoß von Energie (= Kühlung) erforderlich ist, oder kW_e pro kW_e (in ‰). Für jedes ‰ wird eine gewisse Menge CO₂ ausgestoßen. Es wird angenommen, dass ein Durchschnitt von 2.000 (1.500-2.500) Tonnen CO₂ pro Jahr pro MW_e (laufender Betrieb) oder 2 Tonnen CO₂ / ‰ ausgestoßen werden. (Diese Zahl ist von niederländischen Emissionsdaten abgeleitet und hängt vom Brennstoffmix ab).

Die Daten in Tabelle 3.2 liegen in den Bereichen des relativen Energieverbrauchs, die man im Allgemeinen findet, wenn man verschiedene Kühlsysteme mit ähnlichen Kühlleistungen vergleicht. Diese Daten sind nicht exakt und sollten nicht als solche verwendet werden. Sie implizieren auch nicht, dass ein System weniger bevorzugt wird als das andere. Die Tabelle zeigt deutlich, dass der Verlust an Effizienz bei der Kühlung beträchtlich sein kann, und dass die Folgen für die gesamte Energiebilanz vergleichbar gemacht werden können. Diese Tabelle zeigt die Bedeutung der Berücksichtigung sowohl des direkten als auch des indirekten Energieverbrauchs beim Betrieb eines Kühlsystems.

Tabelle 3.2: Beispiel eines Vergleichs des jährlichen spezifischen direkten und indirekten Energiebedarfs verschiedener Kühlsysteme und der Folgen für die CO₂-Emissionen pro MW_{th} [tm059, Paping, 1995]

Kühlsystem	Spezifischer direkter Energieverbrauch (kW _e /MW _{th})			Erhöhte T Pumpe (°C)	Spezifischer indirekter Energieverbrauch (kW _e /MW _{th})	Gesamter Energieverbrauch (kW _e /MW _{th})	E _{input} pro E _{abgeleitet} (in ‰)	CO ₂ (Tonnen/Jahr/MW _{th})
	Pumpen	Ventilatoren	Gesamt					
Durchlaufkühlung	10 (9-12)	-	10	0	0	10	25	50
Durchlaufkühlung mit sekundärem Kühlkreislauf	15 (12-18)	-	15	5	7	22	55	110
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf	15 (13-17)	5	20	5	7	27	68	136
Hybrid-Kühlung	15 (13-17)	8	23	5	7	30	75	150
Kühlturm mit geschlossenem Kreislauf	>15 (13-17)	8	>23	8	11	>34	>85	>170
Trockenkühlturm	-	20	20	20	28	48	120	240

1) siehe Anlage II für die Berechnung des Korrekturfaktors.

3.2.3 Verminderung des Energiebedarfs für die Kühlung

Die Verminderung des erforderlichen Energieverbrauchs von Kühlsystemen ist relevant für das Gleichgewicht in der Umwelt. Integrierte Maßnahmen innerhalb des Industrieprozesses zur Wiederverwendung von Wärme werden wiederum die Notwendigkeit vermindern, überschüssige Wärme in die Umgebung abzuleiten. Falls eine geringere Kühlleistung erforderlich ist, wird allgemein und konstant weniger Energie zum Betrieb des Kühlsystems benötigt. Effizientere Ausrüstung und richtiger Betrieb des Kühlsystems, die den Temperaturanstieg auf der Prozess-Seite vermeiden, können weitere Verminderungen erzielen.

Die richtige Auswahl von Material und Auslegung vermindern den erforderlichen Energieverbrauch von Kühlsystemen. Dies ist eine sehr komplexe Angelegenheit mit vielen Faktoren, wobei es schwierig ist, allgemeine Ratschläge zu geben. Die folgenden Praktiken werden angewandt und können als Optionen erwähnt werden, über die man Bescheid wissen sollte:

1. Die richtige Auslegung des Kühlsystems, wie zum Beispiel glatte Oberflächen und so wenig Änderungen der Fließrichtung wie möglich vermeiden Turbulenzen und vermindern den Widerstand gegenüber dem Durchfluss des Kühlmittels.
2. In mechanischen Kühltürmen sind die Auswahl des Typs und der Stellung der Ventilatoren und die Möglichkeit der Anpassung der Luftströmung Optionen für einen verminderten Energieverbrauch.
3. Auswahl der richtigen Kühlturmeinbauten (im Hinblick auf die Betriebsbedingungen), um jederzeit den maximalen Wärmeaustausch sicherzustellen.
4. Auswahl von Tropfenabscheidern mit minimalem Widerstand gegenüber der Luftströmung.

Änderungen am Material und der Auslegung scheinen keine kosteneffiziente Optionen zu sein, um den Energiebedarf bei bestehenden Systemen, besonders bei großen Systemen, zu vermindern. Der Austausch von Inneneinrichtungen in Kühltürmen (Ventilatoren, Kühlturmeinbauten und Tropfenabscheider) ist in einigen Fällen eine Option. Für kleinere Systeme wie die offenen und geschlossenen Rezirkulations-Nasskühlsysteme, die als Serienkomponenten auf dem Markt sind, ist eine Änderung des Kühlsystems technisch viel leichter.

Ein gutes Beispiel für Wirkung der Auslegung ist die Anwendung von glatten (mit Rippen) versehenen Stützpfeilern an der Einlassöffnung eines großen (178 m) Naturzugkühlturms für ein Atomkraftwerk. Die Auslegung verbesserte die Luftströmung, verminderte den Druckabfall und ermöglichte damit eine um 0,3°C kältere Kühlung, wobei eine um 1°C stärkere Kühlung bei dieser Anlage einer Einsparung von rund 250.000 €/Jahr entspricht.

Sehr wenig wurde berichtet über die Optionen zur Verminderung der benötigten Energiemenge eines Kühlturms durch energieeffizientere Ventilatoren oder die Flexibilität des Betriebssystems. In den Informationen der Lieferanten kann man Daten über die verfügbaren Ventilatorentypen und den Energiebedarf finden. Es gibt Ventilatoren, die mit variablen Drehzahlen betrieben werden können [tm97, Immell, 1996] oder man rät den Benutzern, ein System mit mehreren Ventilatoren einzusetzen, um mehr Flexibilität bei der Einstellung der erforderlichen Luftströmung zu haben.

Im Hinblick auf die Auswirkung von Tropfenabscheidern auf die Leistung von Ventilatoren aufgrund des induzierten Druckabfalls [tm092, Becker and Burdick, 1994] kommt man zu dem Schluss, dass es Unterschiede zwischen den verschiedenen Auslegungen der Abscheider gibt, und dass man den Unterschied in der Auswirkung auf die Ventilatorleistung sorgfältig beachten muss, wobei man die Umgebung des gesamten Systems zu berücksichtigen hat. Dies bedeutet, dass eine komplexe Untersuchung durchgeführt werden muss, die die Konfiguration des Turms und die Luftströmung über den Ventilator und über den Tropfenabscheider einbezieht. Dadurch ist ein nützlicher Vergleich zwischen den verschiedenen Auslegungen der Ventilatoren möglich.

Beispiele über die Änderung der Kühleinbauten im Kühlturm berichteten von beträchtlichen Zunahmen der Effizienz des Wärmetausches, die Senkung der Temperatur des Kühlwassers, das den Turm verlässt, und das Erreichen einer besseren Kühlung ([tm034, Hobson et al., 1995], [tm041, Burger, 1994], [tm117, Remberg and Fehndrich, 1993]).

Die Verbesserung der Wärmetauschkapazität der Kühlturmeinbauten verbessert die Kühlung des Prozesses im Wärmetauscher. Folglich kann der Ventilatorbetrieb verringert werden, während man die gleiche Kühlleistung

wie vorher erreicht. Bei einem unveränderten Betriebsumfang wird die Kühlleistung vergrößert. Der Einsatz der falschen Konfiguration der Kühlturmeinbauten kann einen unnötigen Widerstand zur vorbei- oder durchfließenden Luft hervorrufen, die Geometrie des Turms ist jedoch auch wichtig. Dichte Filmfüllkörper verursachen größere Druckabfälle und erfordern gewöhnlich mehr Ventilatorenergie. Tropfeinbauten haben einen niedrigeren luftseitigen Druckabfall, aber wegen ihrer niedrigeren Effizienz benötigen diese Kühlturmeinbauten größere Türme oder mehr Zellen und der Ausgleich kann nicht durch eine höhere Energiezufuhr für den Ventilatorbetrieb hergestellt werden.

Praktische Erfahrungen berichten von einer klaren Auswirkung der Wartung auf die Verminderung der für den Betrieb von Kühlsystemen benötigten Energie. Im Allgemeinen bedeutet dies für wassergekühlte Systeme die richtige Behandlung zur Verminderung des Widerstands im System aufgrund von Kesselstein, Korrosion, Biofouling, etc. Die Behandlung der Systeme erhält die Oberfläche der Austauscher, Kanäle und Kühlturmeinbauten in Kühltürmen glatt. Sie verhindert Widerstand zur Wasserströmung, vermindert die erforderliche Pumpkapazität und verbessert den Wärmetausch. Die geeignete Behandlung des Kühlwassers (siehe Abschnitt 3.4), der Abgleich der Kühlwasserzusätze gegenüber einem Anstieg der Prozesstemperatur vermindert sowohl den direkten als auch den indirekten Energieverbrauch. Über eine Quantifizierung der Verminderung von kW_e pro abgegeben MW_{th} aufgrund von verbesserter Wartung wurde nicht berichtet.

3.3 Kühlwasserverbrauch und -abgabe

3.3.1 Wasserverbrauch

3.3.1.1 Wasseraufnahme und Wasserbedarf

Wasser ist ein wichtiges Medium für Kühlsysteme und besonders für die großen Durchlaufsysteme, während es für trockene luftgekühlte Systeme keine Bedeutung hat. Es werden Oberflächenwasser, Grundwasser und Trinkwasser verwendet. Im Prinzip können Salzwasser, Brackwasser und Süßwasser für Kühlzwecke verwendet werden. Salzwasser steht in Küstengebieten im Überfluss zur Verfügung, aber der Nachteil von Salzwasser ist seine Korrosivität. In den kommenden Jahren erwartet man eine Verminderung der Verwendung von Grundwasser für Kühlzwecke, da Grundwasser für die Verwendung geringerer Qualität (z.B. Kühlung) zunehmend weniger zugelassen wird, wenn sie nicht mit einer aus anderen Gründen unabdingbaren Grundwasserförderung verbunden ist. Beispiele sind die Absenkung des Grundwasserspiegels für die unbehinderte Bergwerksnutzung oder Wasser aus Pumpmaßnahmen für die Nutzung zur Energieerzeugung. Die geringere Verfügbarkeit von Grundwasser könnte zu einer Zunahme des Verbrauchs von Oberflächenwasser für die Kühlung führen.

Wasserverwendung und Wasserverbrauch sind Begriffe, die zusammen für den Bedarf von Kühlsystemen verwendet werden. Wasserverwendung heißt, dass die gleiche Menge von erwärmtem Wasser zu der Quelle zurückgeführt wird, aus der es entnommen wurde (Durchlauf). Wasserverbrauch heißt, dass nur ein Teil des für die Kühlung verwendeten Wassers (Abflutwasser von Rezirkulationssystemen) in das aufnehmende Gewässer zurückgeführt wird. Der Rest verschwand durch Verdunstung und Tropfenauswurf während des Kühlprozesses. Der Verbrauch ist dort von besonderer Bedeutung, wo Grundwasser in für Trockenheit anfälligen Gebieten für Kühlzwecke verwendet wird.

Die verwendete Wassermenge hängt weitgehend mit der Art der Industrie zusammen. Verschiedene Quellen zeigen, dass die Verwendung von Kühlwasser in Europa beträchtlich ist [Correia, 1995]. Im Allgemeinen wird der größte Anteil von (Oberflächen-) Wasser von Kraftwerken benötigt. Der Rest betrifft eine kleine Anzahl von größeren Industrien, von denen die Chemieindustrie der größte Nutzer ist.

Die benötigte Wassermenge schwankt zwischen den unterschiedlichen Kühlsystemen (Tabelle 3.3). Für Durchlaufsysteme (mit oder ohne sekundärem Kühlkreislauf) hängt die Wasserverwendung ab von

- dem Bedarf des Prozesses (Kondensator)
- der Temperatur des Einlaufwassers
- der maximal zulässigen Temperaturerhöhung des aufnehmenden Gewässers
- der maximal zulässigen Temperatur des Kühlwassers beim Einleiten.

Tabelle 3.3: Wasserbedarf der verschiedenen Kühlsysteme
[tm001, Bloemkolk, 1997]

Kühlsystem	Durchschnittliche Wasserverwendung [m ³ /h/MW _{th}]	Relative Wasserverwendung [%] ¹⁾
Durchlaufsystem	86	100
Durchlaufsystem mit sekundärem Kühlkreislauf	86	100
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf	2	2,3
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf und sekundärem Kühlkreislauf	2	2,3
Hybridkühlturm mit offenem Kühlkreislauf	0,5	0,6
Nasskühlturm mit geschlossenem Kreislauf (separate Wasserzuführung)	variabel	variabel
Trockenkühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf	0	0
Hybridkühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf (separate Wasserzuführung)	1,5	1,7
¹⁾ Annahme: bei ΔT 10 K offener Nasskühlturm: Konzentrationszyklen zwischen 2 und 4 offene Hybridkühlung: 75% Trockenbetrieb Hybridkühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf: Trockenbetrieb zwischen 0 und 25 %		

In offenen Kühlkreislaufsystemen sowie in Nass- und Hybridkühltürmen mit geschlossenem Kreislauf wird das meiste Wasser in den Kreislauf zurückgeführt und die Wärme wird hauptsächlich durch Verdunstung in die Atmosphäre abgeführt. In diesen Systemen variiert die Wasserverwendung beträchtlich und es liegen keine spezifischen Daten vor, da die Leistung vom angewandten Konzentrationsfaktor (reguliert durch das beabsichtigte Abfluten), von der Verdunstung und im geringeren Ausmaß von der Umgebungstemperatur abhängig ist.

Trockene Kühltürme mit geschlossenem Kühlkreisläufen können Wasser als sekundäres Kühlmittel verwenden, aber die Verwendung ist sehr gering im Vergleich zu den nass gekühlten Systemen. Normalerweise wird Auffüll- oder Zusatzwasser nur benötigt, wenn ein Leck aufgetreten ist, z.B. an Pumpeneinheiten, Flanschen und Ventilen oder wenn Wasser abgelassen wurde, um Instandsetzungen am System zu ermöglichen. Unter diesen Umständen sind die Mengen gering und Trinkwasser oder sogar entmineralisiertes Wasser können wirtschaftlich verwendet werden.

Gesetzgebung

In den Mitgliedstaaten befassen sich verschiedene Behörden mit Wasser als einer Ressource oder als aufnehmende Umwelt. Auf jeden Fall sollte Wasser Teil einer integrierten Genehmigung sein, besonders dort, wo die Bestände begrenzt sind. Man erwartet, dass überall in Europa der Druck auf die Ressourcen an Wasser guter Qualität den Druck auf Wasserschutzmaßnahmen an Kühlsystemen erhöhen und die Mengen begrenzen wird, die man einer Quelle entnehmen darf. Im Hinblick auf die Wasserverwendung ist die bedeutende Gesetzgebung auf europäischer Ebene die Wasserrahmenrichtlinie. Sie legt ihren Schwerpunkt sowohl auf die Wasserqualität als auch auf den quantitativen Grundwasserstatus unter Berücksichtigung der Auswirkung des Grundwasserstands auf damit in Verbindung stehende Oberflächen-Ökosysteme und der Nachhaltigkeit der Wasserversorgung. Auf nationaler Ebene haben einige Mitgliedstaaten eine separate Gesetzgebung für Fragen der Entnahme und Verwendung von Oberflächenwasser.

Medienübergreifende Themen

Das Thema der Beschränkung der Wasserverwendung bezieht sich auf die folgenden Umweltaspekte:

- Wärmeemission in das Oberflächengewässer,
- Anwendung von Kühlwasserzusätzen,
- Energieverbrauch sowohl des Kühlsystems als auch des Produktionsprozesses,
- indirekte Emissionen.

Jeder dieser Faktoren muss beurteilt werden, um zu bewerten, ob für die Kühlung eine verminderte Wasseraufnahme die beste Lösung ist. In den folgenden Absätzen wird ein Versuch unternommen, die Optionen der verwendeten Verminderungstechniken und ihre medienübergreifenden Auswirkungen zu beschreiben.

3.3.1.2 Verwendete Techniken zur Verminderung des Wasserverbrauchs

Die Verminderung des Wasserverbrauchs für die Kühlung ist dort von besonderem Interesse, wo die Verfügbarkeit des Wassers aus natürlichen oder ökologischen Gründen gering ist. Dies können von Trockenheit betroffene Gebiete oder Gebiete mit jahreszeitlich bedingten geringen Niederschlägen sein. Die Gefahr der Erschöpfung von Grundwasserquellen und Situationen mit relativ großem Kühlwasserbedarf, wo der Bedarf sich dem Abfluss eines Flusses nähert oder diesen überschreiten könnte oder wo Wärmeemissionen in das Oberflächengewässer begrenzt sind, sind weitere typische Beispiele.

1. Kühltechnologie

Bei der Verminderung der für Kühlsysteme benötigten Wassermenge ist die Wahl des Systems wichtig. In einer Situation auf der grünen Wiese wird vorgeschlagen, die Luftkühlung in Betracht zu ziehen, z.B. durch den Einsatz von offenen Kühltürmen. Bei großen Systemen könnte die erforderliche Kühlleistung die Optionen für die Trockenluftkühlung begrenzen, da sie eine große Wärmetauscher-Oberfläche benötigt. Falls es machbar ist, sollte man die Änderung in der gesamten Effizienz, erhöhte Betriebskosten für den Ventilatorbetrieb und die Kosten für die Lärminderung beachten. Der Einsatz von Trockenkühlssystemen führt im Allgemeinen zu einer Verringerung der Prozesseffizienz. Folglich sind nasse Systeme zu bevorzugen. Nur für den Fall, dass keine Wasserversorgung (bzw. Zusatzwasser) möglich ist, wird die Trockenkühlung unvermeidlich.

Bei bestehenden Durchlaufsystemen ist der Einsatz von Rezirkulationssystemen (offene Nasskühltürme) eine angewendete Option zur Verminderung des Wasserbedarfs. Die Türme sind ausgerüstet mit Tropfenabscheidern als Standardtechnik, um den Wasserverlust weiter zu vermindern. Im Allgemeinen bedeutet die Rezirkulation, dass Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die wärmetauschende Oberfläche gegen Kesselstein oder Korrosion zu schützen. Andererseits bedeutet der Einsatz der Rezirkulation des Kühlwassers eine Verminderung der Wärmeemission in das Oberflächengewässer.

2. Systembetrieb

Eine gemeinhin in Rezirkulations-Nasskühlssystemen eingesetzte Praxis ist Steigerung des Konzentrationsfaktors durch die Verminderung des Abflutens. Dies ist umso einfacher, je sauberer das Wasser ist und die richtige Wartung eines offenen Nasskühlturms vermindert die Verunreinigung des Kühlwassers und kann eine höhere Anzahl von Zyklen ermöglichen und damit ein weniger häufiges Abfluten erreichen.

Die Erhöhung der Konzentrationszyklen führt im Allgemeinen zu einem erhöhten Bedarf an belagverhindernden Wirkstoffen, um höhere Salzkonzentrationen ohne das Risiko von Abscheidungen zu ermöglichen. Man kann eine Anzahl von Berichten finden, die Wasserbehandlungsprogramme darlegen, die besonders für den Betrieb mit höheren Konzentrationszyklen ausgelegt sind, um den Wasserbedarf und das Volumen des Abflutens zu vermindern [tm094, Alfano and Sherren, 1995]. Bei Genehmigungsverfahren sollte man auf die potentielle Steigerungen der Konzentrationen von Bestandteilen in der Abflutung achten.

Eine kritische Überprüfung der Ergebnisse der Maximierung von Kühlturmzyklen und der Probleme, auf die man stieß, kann man finden in [tm095, Cunningham, 1995]. Die Folgerung daraus ist, dass die Fähigkeit, die Anzahl der Zyklen zu erhöhen, von vielen chemischen und physikalischen Faktoren (z.B. Wassertemperatur, pH, Wassergeschwindigkeit) abhängig ist und ein hohes Maß an Fachwissen erfordert. In Anbetracht der Vielfältigkeit der Betriebsbedingungen und der Wasserchemie kann es möglicherweise nicht leicht sein, die maximalen Konzentrationszyklen vorauszusagen und man muss auf die damit verbundenen Kosten achten, damit das Kühlsystem wirtschaftlich betrieben werden kann.

3. Zusätzliche Techniken

Für Rezirkulationssysteme, die relativ geringe Wassermengen verwenden, wurde eine Anzahl zusätzlicher Techniken angewendet. Diese Techniken zielen darauf ab, die Qualität des Kühlwassers zu verbessern. Die Vorbehandlung von Kühlwasser (wie zum Beispiel Ausflockung, Ausfällung, Filtrierung oder Membrantechnologie) kann den Wasserbedarf vermindern, da weniger Abfluten zum Erhalt des gleichen Konzentrationsfaktors erforderlich ist. Wasseraufbereitungen führen jedoch zu Schlamm, der entsorgt werden muss (s. Anlage IV Abfluten).

Der Verdunstungsteich ist eine Technik, die noch auf einigen älteren Betriebsstätten eingesetzt wird und eine weitere Entwicklung durchläuft. Sie kann eingesetzt werden, um Wärmeemissionen in Oberflächengewässer zu

vermindern, indem das Kühlwasser vor dem Einleiten vorgekühlt wird, aber sie könnte in ähnlicher Weise als Kühlturm dienen, der Teil der gesamten Zirkulation ist. In einem Verdunstungsteich wird das Wasser abgekühlt, indem man es über einen großen Einzugsbereich sprüht, damit eine große kühlende Oberfläche erzeugt und danach kann es wieder verwendet werden (Anlage XI). Man sollte auf die mikrobiologischen Risiken aufgrund der Bildung von Aerosolen achten (s. 3.7.3).

Die Verminderung der Anforderung an die Wasservorkommen wird auch versucht durch die Vernetzung der Wasserströme verschiedener industrieller Einheiten auf einem oder mehreren Standorten. Diese Wassereinsparmethode kann ganz erfolgreich sein, bedarf jedoch sorgfältiger Überlegung. In einer Untersuchung von Alternativen zur Wassereinsparung für industrielle Standorte ist eine Anzahl wichtiger Überlegungen aufgeführt [tm065, Meier and Fulks, 1990], die man berücksichtigen sollte:

1. Untersuchung der vorhandenen Wasservorkommen und ihrer Chemie;
2. Abschätzung der Mengen dieser Ressourcen und deren Schwankungen;
3. Abschätzung der Verunreinigung und der Aufbereitung der Wasservorkommen;
4. Auswirkung der gegenwärtigen Aufbereitungsprogramme für Wasservorkommen auf die bestehenden Behandlungsmethoden für Kühlwasser;
5. Auswirkung der potentiellen Steigerungen der Leitfähigkeit des wiederaufbereiteten Wassers auf den Prozess, bei dem das Wasser verwendet wird;
6. Optionen für chemische Behandlungsprogramme für Kühlsysteme;
7. Wirtschaftlichkeit von alternativen Wiederverwendungsmethoden.

Die oben aufgeführten Faktoren wirken sich auf die Wahl der Wasserquellen und die Wassermenge aus, die wiederverwendet werden kann. Wasserressourcen vor Ort sind typischerweise Abflutungen von Kühltürmen und Kesseln. Dreistufig behandelte Abwässer von kommunalen Abfallanlagen werden auch verwendet. In allen Fällen ist es wichtig, einen erhöhten Bedarf für ein noch komplexeres Wasserbehandlungsprogramm zu vermeiden, um die Wiederverwendung von Wasser zu ermöglichen (Anlage XI). Die Wiederverwendung der Abflutung von Verdunstungsteichen ist auch möglich bei Anwendungen, die gegenüber dem erhöhten Salzgehalt des Wassers nicht empfindlich sind.

Eine einleitungsfreie Technologie kann angewendet werden, indem man die Abflutung aufbereitet und wiederverwendet. Die Entsorgungskosten für den entstehenden Schlamm müssen im Vergleich zu den Umweltkosten der Aufbereitung und des Einleitens der Abflutung veranschlagt werden (Anlage XI).

3.3.2 Einsaugen von Fischen

3.3.2.1 Umfang des Einsaugens

Bei einem großen Wassereinlauf, wie zum Beispiel für Durchlauf-Wasserkühlungssysteme, ist das Aufprallen und Einsaugen von Fischen ein Thema. Eingesaugte Fische – meistens Fischlarven, die die Siebe am Kühlwassereinlass, die Pumpen und Kondensatoren passieren – werden im Allgemeinen nicht über Stichproben erfasst. Das Einsaugen ist eine lokale Angelegenheit und die Menge der eingesaugten Fische beruht auf einem Komplex von technischen und hydrobiologischen Faktoren, die zu einer standortspezifischen Lösung führen. Wasser wird in großen Mengen und mit beträchtlicher Geschwindigkeit in Einlasskanäle gezogen. Die Einlasskanäle sind im Allgemeinen mit Schwemmgutfiltern ausgerüstet, um die Wärmetauscher gegen Verstopfung und mechanische Beschädigung zu schützen. Zum Aufprall kommt es, wenn die Fische gegen die Siebe gedrückt werden, die vor den Kondensatoren oder Wärmetauschern eingebaut sind. Eine Menge kleinerer Lebewesen wird mit dem Kühlwasser eingeführt und durch mechanische Beschädigung getötet; man nennt dies Einsaugen.

Daten über die Mengen der Fische, die mit dem Kühlwasser eingeführt oder am Einlass eines Kühlsystems eingefangen wurden, wurden nicht weithin berichtet. Die Ergebnisse von Stichproben über 24 Stunden wurden analysiert im Hinblick auf die Anzahl der Fische, die vom Kühlwasser eines 600 MW_e-Kraftwerks in den Niederlanden [KEMA, 1992] auf dem Rhein mit einem Wasserdurchsatz von 22 – 25 m³/s zum Anprall gebracht wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der Fische, die sowohl zwischen den Jahren als auch den Jahreszeiten des gleichen Jahres eingefangen wurden, stark schwankt. Die meisten Fische wurden im Sommer aufgefunden.

Studien an einem 2.000 MW-Binnenkraftwerk am River Trent in England zeigten, dass es mit Abstand zur Mehrheit der Einsaugungen zur oder bald nach der Abenddämmerung und im Sommer kam. Das Kraftwerk hat kein Durchlaufkühlsystem und es wurde kein Nachweis eines bedeutenden Aufpralls gefunden. Dies war auch bei einem Kraftwerk ähnlicher Größe an der Themse der Fall [Carter und Reader, im Druck]. Die Gitter an beiden Kraftwerken haben eine Maschenbreite von rund 9 mm.

Die Forschung an eingesaugten und aufgeprallten Fischen an neun niederländischen Kraftwerken zeigt, dass mehr als 95 % der aufgeprallten Fische 0⁺-Fische waren, geboren im Frühling des gleichen Jahres und weniger als 10 cm lang. Dies wird durch die Ergebnisse am oben erwähnten Kraftwerk am River Trent bestätigt, obwohl die Sterblichkeitsquote 100 % betrug, während es eine zu vernachlässigende Sterblichkeitsquote bei den Fischen im Vergleich zum beobachteten natürlichen Tod gab [Carter und Reader, im Druck].

Es gibt auch zwischen den verschiedenen Kraftwerken Unterschiede in der Anzahl der eingesaugten Fische und den eingesaugten Fischarten. Die Ergebnisse der Stichprobenprogramme an sechs niederländischen Kraftwerken am Rhein, der Meuse und Nebenflüssen dieser Flüsse zeigen einen Unterschied bei den eingesaugten Arten zwischen 12 und 25 Arten und einen Unterschied bei den angeprallten Fischarten in den Kühlwassersieben von zwischen 0,02 und 2,45 Fischen pro 1.000 m³ Kühlwasser im Jahresdurchschnitt [Haddingh et al., 1983]. Bei Kraftwerken an Seen, an Flussmündungen und an der Meeresküste kann die Anzahl der eingesaugten Fische viel höher sein als bei den Kraftwerken an Flüssen, bis zu 25 Fischen pro 1.000 m³ Kühlwasser [KEMA, 1982].

Tabelle 3.4: Fischeinsaugraten (FER) an Kraftwerken. Jährliche Fänge normiert auf den Kühlwasserdurchsatz [tm164, Travade, 1987] und [tm165, Turnpenny et al, 1985]

Wasser	Kraftwerk	Strom (MW _e)	FER (kg/10 ⁶ m ³)
Nordsee	Sizewell A	480	73
	Kingsnorth	2.000	4,4
	Dünkirchen	600	19
	Gravelines	5.400	48
Ärmelkanal	Dungeness A	410	190
	Dungeness B	1.200	40
	Paluel	5.200	43
	Fawley	2.000	19
Bristol Channel	Hinkley B	1.300	24
Flussmündungen	Le blayais	3.600	79
Flüsse	Loire (St Laurent A)	1.000	1,8

3.3.2.2 Zur Verminderung verwendete Verfahren

Mit unterschiedlichen Ergebnissen wurde eine Reihe von Verfahren in der Industrie entwickelt und verwendet, um die Aufnahme von Fischen aufgrund der hohen Kühlwasseraufnahme zu verhindern. Die optimalen Lösungen und Ergebnisse und die Fähigkeit, den BVT-Anforderungen zu entsprechen, werden durch eine große Vielzahl von biologischen, umweltbezogenen und technischen Faktoren beeinflusst, die auf einer standortspezifischen Basis ausgewertet werden müssen. Deshalb ist ein Vergleich der verschiedenen Verfahren unmöglich.

1. Kühltechnologie

Es erschienen keine Berichte über Änderungen an der Technologie, um das Einsaugen von Fischen zu verhindern. Es ist offensichtlich, dass das Einsaugen von Fischen keine Thema wird, wenn man zu offenen oder geschlossenen Rezirkulations-Kühlssystemen wechselt, was ein kostspieliges Unterfangen ist. Man kann es vielleicht in einer Situation auf der grünen Wiese in Betracht ziehen. Vorrichtungen zur Verhinderung des Einzugs von Fischen kann man z.B. in der Energiewirtschaft und bei Raffinerien finden. Lösungen für die Verhinderung sind:

- Beschallungsgeräte, positiv zum Umleiten (eines Schwarms) von Schuppenfischen, aber nicht für Aale;
- Beleuchtungssysteme mit Unterwasserlampen, positiv zur Umleitung von Aalen;
- Lage, Tiefe und Auslegung des Einlasses;
- Geschwindigkeitsbegrenzungen des Wasserzuflusses (obwohl Daten aus in England durchgeführten Studien erkennen lassen, dass die eingesaugten Fische sich von der Strömung tragen lassen (d.h. sich absichtlich treiben lassen oder sich zerstreuen), selbst wenn sie physisch in der Lage sind, durch Schwimmen der Strömung zu entkommen);
- Maschengröße der Kühlwassersiebe (gegen Schäden am Kühlsystem). Beobachtungen haben gezeigt, dass im gleichen Kraftwerk eine Maschengröße von 5 x 5 mm im Durchschnitt die Zahl der überlebenden, eingesaugten Fische im Kühlwasserauslauf im Vergleich zu einer Maschengröße von 2 x 2 mm verdoppelt, da die durch Aufprall verursachte Sterblichkeit von Fischlarven höher ist als die durch Einsaugen verursachte [KEMA, 1972] und [Hadderigh, 1978].

Die Sterblichkeit von aufgeprallten Fischen kann verringert werden durch ein gutes System, das die Fische von den Kühlwassersieben spült und sie zurück in das Oberflächengewässer wäscht.

2. Betriebliche Praxis und End-of-pipe-Verfahren

Das Verringern der Einströmgeschwindigkeit auf weniger als 0,1 – 0,3 m/s zeigte eine positive Wirkung und verringerte die Menge der eingezogenen Fische. Die Verringerung der Geschwindigkeit kann jedoch bedeuten, dass größere Einlasskanäle erforderlich werden; dies kann technische und finanzielle Konsequenzen haben. Im Allgemeinen betreffen Änderungen in der betrieblichen Praxis oder die Anwendung von End-of-Pipe-Verfahren nicht das Einsaugen von Fischen, aber es gibt auch die Meinung – nicht von allen geteilt –, dass das Einsaugen verringert werden sollte, indem man die tages- und jahrzeitlichen Ansaugschemata in Betracht zieht.

Tabelle 3.5: Verfügbare Fischschutztechnologien für Kühlwasser-Einlassvorrichtungen
 Abgeleitet von [tm152, Taft, 1999]

Kategorie	Schutzverfahren	Wirkungen	Bemerkungen
Fischschutzsysteme	Optimierung (Vergrößerung) der Maschengrößen der verschiebbaren Wassersiebe.	Die Überlebensquote von angesaugten Fischlarven und Jungfischen im Frühstadium verbessern	Die Sterblichkeit aufgrund von Einsaugen dieser Fischgenerationen ist niedriger als die aufgrund von Aufprall.
	Wasserstrahlen mit Niederdruck, um die Fische von den verschiebbaren Sieben abzuspielen und sie in das Oberflächengewässer zurückzubringen	Transport der Fische zurück in das Oberflächengewässer	Erfordert ein zweites Hochdruck-Strahlensystem, um die verschiebbaren Siebe zu säubern
	Fischeimer auf den Sieben	Verbessert die Überlebenschancen der aufgeprallten Fische	Während des Transports zurück in das Oberflächengewässer bleiben die Fische dauernd im Wasser
	Laufende Drehung der verschiebbaren Siebe	Verbessert die Überlebenschancen der aufgeprallten Fische	Verringerung der Aufprallzeit
	Fischpumpen	Transport der Fische zurück in das Oberflächengewässer	Es ist schwierig, in den Rohren die richtigen Bedingungen aufrechtzuerhalten
Fischableitungssysteme	Eckige Siebe oder Schlitze mit einer Umgehungsmöglichkeit für Fische	<ul style="list-style-type: none"> - Überleben von härteren Fischarten (50-100%) geringer bei zarten Arten - Nicht für Fischeier, Larven und kleinere Wirbeltiere 	<ul style="list-style-type: none"> - Erfordert eine einheitliche Strömung bei niedriger Geschwindigkeit - Schwemmgut muss entfernt werden
Verhaltensbedingte Barrieren	Leuchten <ul style="list-style-type: none"> - Blinkleuchten - Dauerleuchten - Quecksilberdampfleuchten - sonstige Leuchten 	Die Auswirkungen verschiedener Leuchtsysteme sind abhängig von der örtlichen Situation, der Fischart und den Entwicklungsstadien der Fische	In vielen Situationen ist eine Umgehungsstrecke für die umgeleiteten Fische erforderlich
	Beschallung	Die Auswirkungen sind abhängig von der örtlichen Situation, den Fischarten und den Entwicklungsstadien der Fische	In vielen Situationen ist eine Umgehungsstrecke für die umgeleiteten Fische erforderlich

3.3.2.3 Kosten von Beschallungsvorrichtungen und Lichtsystemen

Es ist offensichtlich, dass jede Veränderung, die an einem bestehenden System vorgenommen wird, kostspielig ist. Die Energiewirtschaft berichtete über zusätzliche Kosten in Höhe von zwischen 40.000 und 200.000 €, einschließlich der Kosten für Abschaltzeiten, für die Fischschutz-Technologie, die an bestehenden Anlagen angebracht wurden. In Situationen auf der grünen Wiese sind die zusätzlichen Investitionen für alternative Einlaufeinrichtungen möglicherweise weniger umfangreich.

Um eine gute Wirksamkeit zu erreichen, darf die Wasserströmung durch die Schalleinrichtungen und Lichtsysteme nicht höher als 0,3 – 0,5 m/s sein. Dies bestimmt die Länge der Systeme.

Die Material- und Baukosten für ein Lichtsystem betragen 90.000 – 140.000 € für eine Länge von 100 m und für ein Schallsystem (BAFF) rund 180.000 € pro 100 m.

3.3.3 Wärmeemission in Oberflächengewässer

3.3.3.1 Höhe der Wärmeemission

Die gesamte abgegebene Wärme endet schließlich in der Luft. Falls man Wasser als Zwischenkühlmittel verwendet, wird die gesamte Wärme in die Luft übertragen, entweder von den Wassertropfen in einem Kühlturm oder von der Oberfläche des aufnehmenden Gewässers. Ehe die Wärme das Oberflächengewässer verlässt, kann sie das aquatische Ökosystem angreifen und dies sollte vermieden werden.

Die Wärmeemission ist auch ein Thema, das eng mit der Menge des verwendeten und abgeführten Kühlwassers zusammenhängt. Gemäß ihrer Definition stellen Durchlaufsysteme, mit oder ohne sekundärem Kühlkreislauf, die größte Quelle der Wärme dar, die an das Oberflächengewässer abgegeben wird, da die Wärme vollständig über das Kühlwasser abgegeben wird. Das Kühlwasser in den Rezirkulationssystemen gibt den größten Teil der Wärme über einen Kühlturm an die Luft ab. Die Wärmemenge, die mit der Abflutung von einem Kühlturm abgegeben wird, beträgt ca. 1,5 % der abzugebenden Wärme, während 98,5 % in die Luft abgelassen werden. Es gibt wenig Informationen über die Auswirkungen von Wärmeemissionen auf das aquatische Ökosystem, aber es gibt Erfahrungen mit hohen Sommertemperaturen und kleinen aufnehmenden Wasserstraßen. Ein Temperaturanstieg kann zu einem Anstieg der Sauerstoffzehrung und der biologischen Produktion (Eutrophierung) führen. Das Ablassen von Kühlwasser in das Oberflächengewässer beeinflusst die gesamte aquatische Umgebung, besonders Fische. Die Temperatur hat eine direkte Auswirkung auf alle Lebensformen und deren Physiologie und eine indirekte Auswirkung durch die Wirkung auf das Sauerstoffgleichgewicht.

Die Erwärmung reduziert die maximale Löslichkeit des Sauerstoffs, führt zu einer hohen relativen Sättigung, die zu einem reduzierten Sauerstoffspiegel führt. Die Erwärmung beschleunigt auch den mikrobiellen Abbau von organischen Stoffen und verursacht einen erhöhten Sauerstoffverbrauch. Auch wo es zu einer Zirkulation von Kühlwasser kommt oder wo eine Anzahl von Industrien die gleiche beschränkte Kühlwasserquelle nutzen, müssen die Wärmeemissionen sorgfältig geprüft werden, um Störungen am Betrieb von flussabwärts gelegenen industriellen Prozessen zu verhindern.

Aus der spezifischen Wärme des Wassers, die rund 4,2 kJ/kg/K beträgt, kann der Temperaturanstieg des Wassers berechnet werden. Wenn das Kühlwasser zum Beispiel um durchschnittlich 10 K erwärmt wird, benötigt 1 MW_{th} Wärme einen Kühlwasserdurchsatz von rund 86 m³/h. Allgemein gesagt, jede kW_{th} benötigt 0,1 m³/h an Kühlwasser. Bei rezirkulierendem Kühlwasser wird die Wärme durch die Verdunstung über das Kühlwasser in einem Kühlturm an die Luft übertragen. Dabei beträgt die Verdunstungswärme des Wassers 2.500 kJ/kg (bei 20°C).

Besonders in der Energiewirtschaft wurden die Faktoren erforscht, die bei der Ableitung von großen Wärmemengen in Oberflächengewässer eine Rolle spielen. Ein Reihe von physikalischen Phänomenen müssen berücksichtigt werden, wenn Wärmeemissionen bewertet werden, z.B.:

- jahrezeitliche Schwankung in der Temperatur des aufnehmenden Gewässers;
- jahrezeitliche Schwankung im Wasserstand der Flüsse und die Schwankung in der Fließgeschwindigkeit;
- das Ausmaß der Vermischung des abgeleiteten Kühlwassers mit dem aufnehmenden Gewässer (Nahfeld und Fernfeld);
- an küstennahen Standorten Ebbe- und Flutbewegungen oder starke Strömungen und
- die Konvektion im Wasser und in die Luft. .

Das Verhalten der Warmwasserschwade im Oberflächengewässer ist nicht nur zum Schutz der empfangenden Umgebung wertvoll, sondern auch für die Wahl des richtigen Platzes für den Einlass und Auslass. Es wird immer von Bedeutung sein, die Zirkulation der Schwade zu verhindern, die Auswirkung auf die Temperatur des aufgenommenen Wassers und folglich auf die Wirksamkeit des Kühlsystems hat. Als Beispiel beträgt der Umfang der thermalen Schwade, definiert als der Bereich innerhalb der 1 K Wärmeisotherme ohne das Vermischen mit starken Strömungen (z.B. in einem See) für ein konventionelle Kraftwerk ca. 1 ha pro MW_e oder ca. 45 km² für ein 5.000 MW_e Kraftwerk. Anlage XII enthält eine ausführlichere Beschreibung des Verhaltens der Wärmeschwade.

3.3.3.2 Gesetzliche Anforderungen an die Wärmeemission

Anforderungen für spezifische Süßwassergewässer

Die Europäische Richtlinie 78/659/EWG (18. Juli 1978) setzt umweltbezogene Qualitätsnormen für gewisse Stoffe und die Wärmeeinleitungen in bezeichnete Süßwasser-Fischereigewässer. Die Richtlinie bestätigt lokale Bedingungen in einer Bestimmung in Artikel 11 mit Bezug auf die Beeinträchtigung der Mitgliedstaaten.

Wo Temperaturanforderungen von der Fischart abhängig sind, werden in Übereinstimmung mit ihrer Fischpopulation zwei Gewässerarten unterschieden:

- Salmonidengewässer
- Cyprinidengewässer.

Für jedes ökologische System werden drei thermische Parameter angewendet:

- maximale Wassertemperatur an der Grenze der Vermischungszone
- maximale Wassertemperatur während Fortpflanzungszeit der "Kaltwasser-Fischarten"
- maximaler Temperaturanstieg.

Tabelle 3.6: Anforderungen an die Wassertemperaturen für zwei ökologische Systeme (Europäische Richtlinie 78/659/EEC)

Parameter	Salmonidengewässer	Cyprinidengewässer
T _{max} an der Grenze der Vermischungszone (°C)	21,5	28,0
T _{max} während der Fortpflanzungszeit der Kaltwasser-Fischarten (°C)	10,0	10,0
ΔT _{max} (°C) an der Grenze der Vermischungszone	1,5	3,0

Hinweis: Die Temperaturgrenzen dürfen für maximal 2% der Zeit überschritten werden. .

Sonstige aufnehmende Gewässer

In den Mitgliedstaaten wird die Wärmeemission an Oberflächengewässer auf verschiedene Weise geregelt. Dies hängt ab von den ökologischen Bedingungen und anderen Faktoren wie der Empfindlichkeit der aufnehmenden Oberflächengewässer; den örtlichen Klimabedingungen; der Kapazität des Empfängers, thermische Belastungen aufzunehmen, und der vorherrschenden Strömungen und Wellen (Hydrodynamik des Wassers). Die Regelungen betrachten die Wärmeemissionen oft in Verhältnis zum aufnehmenden Oberflächengewässer. Beispiele sind:

- Standardisierung der maximalen Ableitungstemperatur (z.B. 30°C im Sommer in gemäßigten Klimaten und 35°C in heißen Ländern)
- Begrenzung der maximalen Erwärmung im Verhältnis zum empfangenden Wasser und der jahreszeitlichen Temperaturunterschiede (z.B. ΔT_{max} von 7-10 K gemessen über die gesamte Kühlwasserstrecke im Produktionsprozess),
- Festsetzen eines maximale, akzeptablen Temperaturprofils des Oberflächengewässers und der insgesamt verfügbaren Kühlkapazität des Oberflächengewässers.

Diese Anforderungen werden in Genehmigungen formuliert.

Andere Regelungen schreiben keine allgemein fixierte Ableitungstemperatur vor. Primär folgt die Höhe der Ableitungstemperatur aus dem Typ des Kühlsystems. Zusätzlich spielt die jahreszeitliche Temperaturänderung des Oberflächengewässers eine wichtige Rolle bei der Festsetzung der zulässigen Ableitungstemperatur. Einige regionale Behörden klassifizieren auch noch weiter die empfangenden Gewässer mit Hilfe der Charakteristika ihrer Fauna.

3.3.3.3 Zur Verminderung verwendete Verfahren

1. Kühltechnologie

Der beste Weg zur Verminderung von Wärmeemissionen ist, die Notwendigkeit der Ableitung durch die Optimierung des Elementarprozesses zu vermindern oder Kunden für die überschüssige Wärme zu finden. Im Fall der Wärmeemission in die Umwelt konzentriert man sich auf die Wärmeemissionen in Oberflächengewässer. Bei der Berücksichtigung von Verminderungsverfahren ist es wichtig, sich der Tatsache bewusst zu sein, dass am Ende die gesamte Wärme in der Luft verschwindet und dass das Oberflächengewässer nur ein Zwischenmedium ist. Wenn man zwischen verschiedenen Kühlsystemen wählt, kann man entscheiden, welches vorzuziehen ist. Somit kann die Auswirkung der Wärmeabgabe auf die Umwelt minimiert werden, indem man mehr Wärme in die Atmosphäre ableitet und weniger Wärme in ein Oberflächengewässer und dies auf Kosten des Wasserverlusts durch Verdunstung. Die Minimierung der Wärmeableitungen auf ein Oberflächengewässer hängt zusammen mit der Minimierung des Wasserverbrauchs und der gesamten Energieeffizienz. Je mehr Wärme über Konvektion und Verdunstung abgeführt wird, um so mehr Energie pro abgeführte MW_{th} wird wegen des Einsatzes von Ventilatoren benötigt, falls man keine natürliche Luftströmung einsetzt. Dies erfordert im Allgemeinen große Investitionen und eine Menge Raum.

Im Fall von großen Kapazitäten ist es eine weit verbreitete Lösung zur Verminderung der Wärmebelastung der Oberflächengewässer von (hauptsächlich) Flüssen und Seen eine geeignete Technologie der Wärmeübertragung zu wählen, z.B. anstelle eines Durchlaufsystems ein Rezirkulationssystem mit einem offenen Nass- oder Hybrid-Kühlturm.

2. Betriebliche Praxis

Über die Vermeidung oder Reduktion der Ableitung von Wärme in Oberflächengewässer wurden keine Berichte über besondere betriebliche Optionen vorgelegt.

3. Zusätzliche Verfahren

Der Einsatz von Verdunstungs-(Sprüh-) Teichen ist eine alte, in Europa jedoch in sehr kleinem Umfang noch ausgeübte Praxis, die neuerdings erneut Aufmerksamkeit auf sich zieht. Um die Kühlung des Wassers zu verbessern, sind der Winkel der Spritzdüse und die Zeit, in der das Wasser im Teich bleiben kann, ehe es wieder in den Kühlkreislauf eintritt, ebenso wie ein ausreichender Oberflächenbereich, wichtig. Um dieses Verfahren zu bewerten, sollte es mit einem Kühlturm mit ähnlicher Leistung verglichen werden. Man sollte auf Folgendes achten:

- benötigter Oberflächenbereich,
- Wasserverlust aufgrund von Verdunstung,
- Energieverbrauch,
- die Notwendigkeit der Wasserbehandlung ebenso wie
- mikrobiologische Risiken wegen der Bildung von Aerosolen (siehe auch 3.7.3).

Eine andere Art der End-of-Pipe-Technik ist die Vorkühlung der Ableitung großer Kraftwerke mit Hilfe eines Kühlturms. Es ist ein kostspieliges Verfahren, das man dort einsetzt, wo die Zirkulation der Ableitung in dem Oberflächengewässer die Kühlwassertemperatur am Entnahmepunkt beeinflussen kann. Die zusätzlichen Kosten des zusätzlichen Kühlturms und des Wasserverlusts aufgrund der Verdunstung müssen verglichen werden mit den Kosten im Hinblick auf eine verminderte Wirksamkeit bei einer höheren Temperatur des entnommenen Wassers.

Eine Maßnahme, die ebenfalls zur Verminderung der Auswirkung des Wärmeabflusses empfohlen wird, ist die Auslegung des Wasseraustrittsstelle in einer Weise, dass das Wasser durch die Turbulenz während der Ableitung etwas Wärme verliert. Eine Nebenwirkung dieser Maßnahme ist die Zunahme des Sauerstoffgehalts

des Kühlwassers, das den Sauerstoffverlust wegen der höheren Kühlwassertemperaturen ausgleicht. Es sind keine Daten verfügbar und der Umfang dieser Wirkung ist auch umstritten.

3.4 Emissionen aus der Kühlwasserbehandlung

Emissionen aus der Kühlwasserbehandlung in Oberflächengewässer werden als das wichtigste Thema bei Kühlsystemen angesehen. Man kann zwischen vier Emissionsquellen unterscheiden, die bei Nasskühlsystemen entstehen:

- Prozesschemikalien (Produkt) und ihre Reaktanten, aufgrund von Leckage;
- Korrosionsprodukte aufgrund der Korrosion der Kühlsystemausrüstung;
- zugegebene Kühlwasserzusätze und ihre Reaktanten;
- Schwebstoffe in der Luft.

Verschiedene Verfahren werden angewendet, um diese Emissionen zu bekämpfen. Das Leckagerisiko kann verringert werden ebenso wie die Möglichkeit unkontrollierter Emissionen nach der Leckage, und für die Ausrüstung kann das geeignetste Material ausgewählt werden, um die Korrosion zu verringern. Dieser Abschnitt konzentriert sich auf Maßnahmen zur Verringerung der Menge und der Auswirkung von Emissionen aufgrund der Verwendung von Kühlwasserzusätzen:

- durch die Verminderung des Bedarfs an Wasserbehandlung;
- durch die Auswahl chemischer Verfahren, die geringere Auswirkungen auf die Umwelt haben;
- durch die Anwendung der Chemikalien auf wirksamste Weise (Systembetrieb).

3.4.1 Praxis der Kühlwasserbehandlung

Kühlwasser wird behandelt, um eine wirkungsvolle Wärmeübertragung zu fördern und das Kühlsystem so zu schützen, dass eine Anzahl nachteiliger Auswirkungen auf die Leistung der Kühleinrichtung überwunden wird. In anderen Worten, die Kühlwasserbehandlung zielt darauf ab, den Gesamtenergieverbrauch zu vermindern.

Die nachteiligen Auswirkungen stehen in starker Beziehung zur Chemie des für die Kühlung aufgenommenen Wassers und der Betriebsweise des Kühlsystems (z.B. Konzentrationszyklen). Salzwasser stellt andere Anforderungen als Süßwasser und industrielle Emissionen von verunreinigten Stoffen flussaufwärts können eine Herausforderung sein. Kühlwasser kann auch verunreinigt werden durch die Leckage von Prozessflüssigkeiten aus Wärmetauschern oder im Fall von offenen Nasskühltürmen durch die Luft, die durch den Turm fließt und Staub, Mikroorganismen und den Austausch von Dampf mit sich führt.

Kühlwasserzusätze werden verwendet für Durchlaufsysteme, offene Nasskühlsysteme, Kreislauf-Nasskühlung und Hybridsysteme. Wo Wasser als ein direktes Kühlmittel im Trockenteil von Trockensystemen verwendet wird, können sehr geringe Mengen von Zusätzen verwendet werden, um das Wasser im geschlossenen Kreislauf aufzubereiten.

Unter Umweltaspekten sind Zusätze wichtig: Sie verlassen das Kühlsystem in einem gewissen Stadium und werden auf das Oberflächengewässer oder, im weit geringeren Umfang, in die Luft entlassen. Im Allgemeinen sind die Chemie und die Anwendung der verwendeten Chemikalien bekannt, aber die Wahl von nicht oxidierenden Bioziden erfolgt hauptsächlich auf der Basis des „Ausprobierens“. Die Umwelteffekte der verwendeten Chemikalien können durch Modellversuche (Risiko/Gefahr) oder durch Messungen beurteilt werden. Da sie zur Verbesserung eines effizienten Wärmeaustausches verwendet werden, bezieht sich ihre Anwendung auch auf die nachteiligen Wirkungen, die sich aus einer niedrigeren Effizienz des Austausches ergeben. Der zu kühlende Industrieprozess kann betroffen werden, wenn die Wärmeübertragung ineffizient ist und eine Zunahme des Energieverbrauchs verursachen (d.h. ähnlich einer Steigerung der Luftemissionen) oder zu einem höheren Bedarf an Rohmaterialien, um den Produktverlust auszugleichen.

Der Energieverbrauch des Kühlsystems kann wegen der höheren Anforderungen an Pumpen und Ventilatoren ansteigen, um den Verlust an Effizienz im Wärmeaustausch auszugleichen.

Probleme mit der Wasserqualität, auf die man im Allgemeinen stößt, sind:

- Korrosion der Kühlwasserausrüstung, die zur Leckage von Wärmetauschern und zum Auslaufen von Prozessflüssigkeiten in die Umgebung oder Vakuumverlust in Kondensatoren führen kann;
- Kesselstein, überwiegend durch die Ausfällung von Kalziumkarbonaten, Sulfaten und Phosphaten, Zink- und Magnesiumsalzen;
- (Bio-) Verschmutzung von Rohrleitungen und Wärmetauschern (auch Kühlturmreinbauten von Nasskühltürmen) durch Mikro-, Makro-Organismen und Schwebestoffe, die zu einer Blockierung der Wärmetauscherrohre durch große Feststoffe (Muscheln) oder Emissionen aus den Kühltürmen in die Luft führen können.

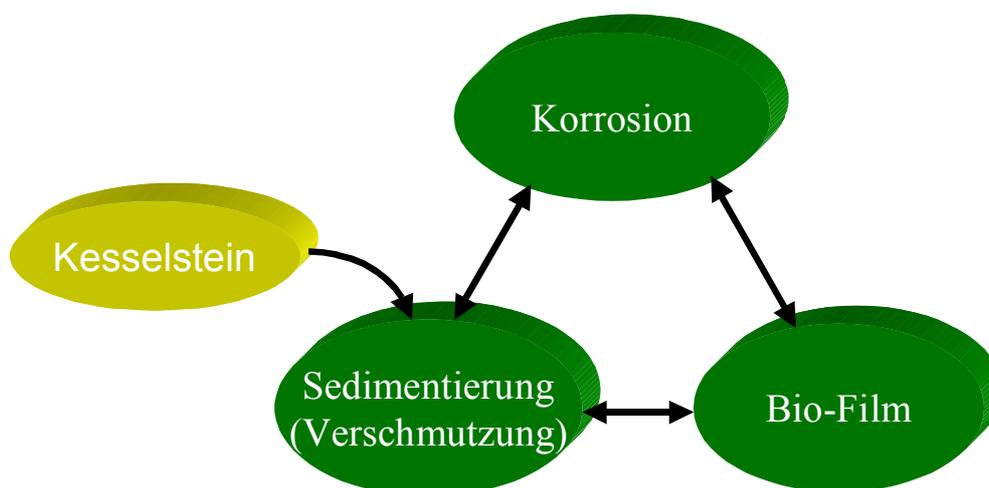


Abbildung 3.1: Grafische Darstellung der wechselseitigen Beziehung zwischen den verschiedenen Problemen der Wasserqualität

Kühlwasserprobleme stehen oft in wechselseitiger Beziehung. Kesselstein kann sowohl zu Korrosion als auch zu Bio-Verschmutzung führen. Korrosionsflecke führen zu veränderten Mustern in der Wasserströmung und schaffen Turbulenzzonen, wo die Bio-Verschmutzung gesteigert wird. Bio-Verschmutzung kann die weitere Korrosion der darunter liegenden Oberfläche verstärken. (Abbildung 3.1).

Folgende Gruppen von Chemikalien werden verwendet, um das Wasser zu konditionieren (siehe auch Anhang V):

- **Korrosionsschutzmittel:**
Früher wurden hauptsächlich Metalle verwendet, aber es gibt einen Trend hin zu Azolen, Phosphonaten, Polyphosphaten und Polymeren. Das heißt, dass die Toxizität abnimmt, während die Persistenz steigt. Kürzlich wurden einige bessere biologisch abbaubare Polymere entwickelt.
- **Härtestabilisatoren oder Kesselsteinschutzmittel:**
Die Formulierungen bestehen hauptsächlich aus Polyphosphaten, Phosphonaten und gewissen Polymeren. Jüngste Entwicklungen in dieser Anwendungsgruppe gehen auch in die Richtung biologisch besser abbaubarer Verbindungen.
- **Dispersionschemikalien:**
Meist Copolymere, oft in Verbindung mit Tensiden. Der hauptsächliche Umwelteffekt ist die schlechte biologische Abbaubarkeit.
- **Oxidierende Biozide:**
Chlor (oder eine Kombination von Chlor und Brom) und Monochloramin werden hauptsächlich verwendet. Chlor (Brom) ist ein starkes Oxydationsmittel (akut toxisch), das heißt, die Halbwertszeit ist kurz, aber die Nebenwirkungen der Behandlung mit Chlor sind die Bildung von halogenierten Nebenprodukten. Andere oxidierende Biozide sind Ozon, UV, Wasserstoffperoxid oder Peressigsäure. Die Verwendung von Ozon und UV erfordert eine vorherige Aufbereitung des Zusatzwassers und bedarf spezieller Materialien. Man erwartet, dass die Auswirkungen auf die Umwelt weniger schädlich sind als bei halogenierten Bioziden, aber die Anwendung erfordert spezielle Sorgfalt, ist teuer und ist nicht in allen Situationen einsetzbar.

- Nicht oxidierende Biozide:
Isothiazolone, DBNPA, Glutaraldehyd und quaternäre Ammoniumverbindungen, etc. Diese Verbindungen sind im Allgemeinen akut toxisch und oft nicht leicht chemisch abzubauen, obwohl es einige gibt, die über Hydrolyse oder durch andere Mechanismen abgebaut werden. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind von Bedeutung.

Tabelle 3.7: Chemische Verbindungen zur Kühlwasserbehandlung, die in Durchlauf- und Rezirkulations-Nasskühlsystemen verwendet werden.

Abgeleitet von [tm135, Nalco, 1988]

Beispiele chemischer Behandlung*	Probleme mit der Wasserqualität					
	Korrosion		Kesselstein		(Bio-) Verschmutzung	
	Durchlaufsysteme	Rezirkulationssysteme	Durchlaufsysteme	Rezirkulationssysteme	Durchlaufsysteme	Rezirkulationssysteme
Zink		X				
Molybdate		X				
Silikate		X				
Phosphonate		X		X		
Polyphosphate		X		X		
Polyolester				X		
Natürliche organische Stoffe				X		
Polymere	X	X	X	X	X	X
Nicht oxidierende Biozide						X
Oxidierende Biozide					X	X
Anmerkungen: Chromat wird wegen seiner hohen Auswirkungen auf die Umwelt weitgehend nicht mehr verwendet.						

Die Notwendigkeit der Behandlung von Kühlwasser und die Art und Menge der verwendeten Chemikalien werden eingehender in Anlage V beschrieben. Die Anwendung der Konditionierung von Kühlwasser ist eine hoch komplizierte und lokale Angelegenheit, bei der die Auswahl auf der Basis der folgenden Kriterien beruht:

- Auslegung und Material der Wärmetauschergeräte;
- Temperatur und Chemie des Kühlwassers;
- Organismen im Oberflächengewässer, die mitgerissen werden können;
- Empfindlichkeit des aufnehmenden aquatischen Ökosystems gegenüber dem emittierten Zusatz und seiner zugehörigen Nebenprodukte.

Für die ordnungsgemäße Ausführung jeder dieser Behandlungen ist in der Regel eine Kontrolle des pH des Kühlwassers und der Alkalinität innerhalb eines spezifizierten Bereichs erforderlich. Gute pH- und Alkalinitätskontrollen sind dort wichtiger geworden, wo pH-sensitivere Behandlungsprogramme eingesetzt werden oder wo höhere Konzentrationszyklen in offenen Rezirkulations-Kühltürmen angewendet werden, um das Abfluten zu minimieren und den Wasserbedarf zu vermindern. In der Industrie wird es mehr und mehr zur allgemeinen Praxis, Wartungsprogramme vom zusätzlichen Zulieferer entwickeln und ausführen zu lassen. Die Verantwortung für den Systembetrieb verbleibt jedoch beim Eigentümer des Kühlsystems.

Berücksichtigt man die spezifischen Eigenschaften des Standorts und des Systems, so wird es schwierig, typische Mengenangaben für die in verschiedenen Systemen verwendeten Zusätze zu finden. Wenn Mengenangaben berichtet werden, so werden sie ausgedrückt in kg oder in (metrischen) Tonnen pro m³ des Kühlwassers oder in kg oder (metrischen) Tonnen pro abgeführten MW_{th}. Die Tabelle 3.8 berichtet das Ergebnis einer kürzlichen Bestandsaufnahme von Chlor in den Niederlanden, das in der holländischen Industrie weitgehend verwendet wird. Die Daten zeigen, dass Unterschiede sowohl zwischen den Systemen als auch den verschiedenen Wassertypen gibt. Andere Wasserquellen, die in den Rezirkulationssystemen verwendet werden, sind zum Beispiel Trinkwasser, Grundwasser und Kondensate.

Tabelle 3.8: Verbrauch von Hypochlorit in Nasskühlssystemen in den Niederlanden
[tm160, Bijstra, 1999]

Kühlwasserquelle	Verbrauch von aktiven Chlor in kg/MW _{th} /Jahr	
	Durchlaufsysteme	Rezirkulationssysteme
Süßwasser	85 (10-155)	200 (20-850)
Salz- oder Brackwasser	400 (25-2.500)	
Sonstige Wasserquellen		400 (20-1.825)

3.4.2 Chemikalienemissionen in Oberflächengewässer

In Europa und den USA wurde eine Menge Arbeit für die Optimierung der Konditionierung von Kühlwasser, für die Anwendung alternativer Behandlungsverfahren und für andere Verfahren zur Vermeidung schädlicher Auswirkungen auf die aquatische Umgebung aufgrund der Kühlwasserzusätze verwendet. Überwiegend konzentriert sich diese Arbeit auf die Anwendung von Bioziden.

Spezifische Emissionen, die die Folge der Kühlwasserbehandlung sind, können in Situationen schwierig zu beurteilen sein, in denen Analysemethoden für die zur Behandlung verwendeten Chemikalien nicht zur Verfügung stehen. Neben den spezifischen, für die Behandlung von Kühlwasser verwendeten Chemikalien können auch die aus den Chemikalien entstehenden Nebenprodukte bedeutend zu der Umweltauswirkung auf Oberflächengewässer beitragen. Wenn Chlor oder Brom als Zusätze verwendet werden, so gehen 3 – 5 % eine Reaktion zu Haloformverbindungen (Chloroform oder Bromoform) ein [tm072, Berbee, 1997].

Die Quantifizierung von kurzfristigen Wirkungen kann man durch die Ausführung von (akuten) Toxizitätstests an den abgelassenen Kühlwasserströmen erreichen. Diese Ergebnisse können als eine Mindestschätzung der Umweltwirkungen im Oberflächengewässer angesehen werden, [da langfristige (chronische) Wirkungen, biologische Abbaubarkeit, biologische Ablagerungen (P_{ow}) und karzinogene Wirkungen in diesen Tests nicht enthalten sind]. Vor kurzem wurden in den Niederlanden mehrere Studien durchgeführt, die die Verwendung von oxidierenden Bioziden (hauptsächlich Hypochlorit) ([tm001, Bloemkolk, 1997], [tm072, Berbee, 1997] und [tm160, Bijstra, 1999]) und nicht oxidierender Biozide ([tm001, Bloemkolk, 1997] und [tm149, Baltus et al., 1999]) betrafen..

3.4.2.1 Oxidierende Biozide

In mehreren Ländern wurden Programme eingerichtet, um die optimale Verwendung von Hypochlorit im Kühlwasser zu erreichen. Freies Oxidanz [mg FO/l] wird oft im Kühlwasser als Kontrollparameter verwendet. In den Niederlanden wird eine Konzentration von 0,1 – 0,2 [mg FO/l] in der Ableitung als Zielkonzentration für laufend dosierte (Durchlauf-) Kühlsysteme benutzt. Bei intermittierend oder im Schock durchgeführten Chlorierungen liegt die FO- oder FRO-Konzentration immer unter 0,2 mg/l als täglicher (24 Std.) Durchschnittswert. Aber während der Schockinjektion können die FO- oder FRO-Konzentrationen nahe bei 0,5 mg/l (stündlicher Durchschnitt) liegen oder dem gleich sein.

Die Optimierung durch die Durchführung von Überwachungsmaßnahmen und die kontrollierte (automatische) Dosierung von Bioziden kann den jährlichen Verbrauch von im Kühlwasser verwendeten Chemikalien bedeutend vermindern. Dies kann zu einer Verminderung der Belastung durch Biozide und ihrer Nebenprodukte, z.B. organischer halogenhaltiger Verbindungen als dem Hauptprodukt [tm157, Jenner et al, 1998] führen.

Mehrere Gesellschaften in der chemischen Industrie und dem Sektor der Energieproduktion haben Verminderungen von bis zu 50 % bei der Verwendung von Hydrochloriten im Kühlwasser erzielt, indem sie die oben erwähnten Optimierungsmaßnahmen einführten [tm160, Bijstra, 1999].

3.4.2.2 Nicht oxidierende Biozide

Im Jahr 1999 wurde eine Studie der Auswirkungen auf die Umwelt durch die Verwendung von oxidierenden und nicht oxidierenden Chemikalien in Rezirkulations-Kühlsystemen durchgeführt. Für die Chemikalien, bei denen Analysemethoden nicht verfügbar waren, wurden die Konzentrationen der Chemikalien im Kühlwasser gemessen. Für alle verwendeten Chemikalien wurden Toxizitätstests verwendet, um die Wirkung auf die Umwelt im Oberflächengewässer zu beurteilen. Wenn Kühlwasser unmittelbar in das Oberflächengewässer abgelassen wird, so führte die Verwendung von nicht oxidierenden Chemikalien in rezirkulierenden Kühlsystemen in vielen Fällen zu starken Umweltauswirkungen im Oberflächengewässer. Bei den oxidierenden Chemikalien (Hypochlorit) wurden auf der Grundlage von Toxizitätstests PEC/PNEC-Quotienten im Bereich von 3 (fortlaufende Dosierung) und 33 (Schockdosierung) gefunden und für die nicht oxidierenden Chemikalien fand man PEC/PNEC-Quotienten von 20 (Isothiazoline), 2.500 (BNS), 660-13.000 (BNS/MBT) und 3.700 (DBNPA) ([tm149, Baltus et al., 1999] Siehe Seitenübersicht Seiten. 9-10, Tabelle 16 S. 64 und Kapitel 9 Seiten. 75-82)).

Eine weitere durchgeführte Studie zeigte, dass die potentiellen Risiken für das aufnehmende Oberflächengewässer nicht ausgeschlossen werden können, wenn Isothiazoline (1,2-Benzisothiazolin-3-on, 2-Methyl-4-Isouthiazolin-3-on) im Kühlwasser als Zusätze verwendet werden (siehe [tm149, Baltus et al., 1999] Seiten 13 und 14).

Die Behandlungsprogramme unterscheiden sich beträchtlich und hängen von den vorher erwähnten Faktoren ab; als solche sind sie spezifisch für den Standort. Die Emissionen von Zusätzen ändern sich im Volumen und der Chemie (Toxizität, Reaktivität). Abbau, Interaktion und mögliche Aufbereitungsmaßnahmen können die tatsächliche Menge beeinflussen, die schließlich abgelassen wird und damit folglich die entstehende Auswirkung auf die aquatische Umwelt. Die Optimierung und die kontrollierte Konditionierung des Kühlwassers durch die Verwendung der (automatischen) Dosierung und der Überwachung kann die Verwendung von Chemikalien im Kühlwasser und folglich die Umweltauswirkung im aufnehmenden Wasser bedeutend vermindern.

In den Niederlanden ist die Verwendung von Hypochlorit und Brom im Kühlwasser eine der wichtigsten Quellen von als AOX gemessenen organischen Halogenverbindungen im Oberflächenwasser [tm001, Bloemkolk, 1997] und [tm072, Berbee, 1997].

Manchmal wird Kühlwasser vor dem Ablassen in Abwasserbehandlungsanlagen aufbereitet. Ein Beispiel dafür ist das Aufbereiten von Abflutwasser zusammen mit anderen Abwasserströmen in Raffinerien. Diese Behandlung könnte möglicherweise die Wirkung von Bioziden in Oberflächengewässern vermindern. Biologische Behandlung kann empfindlich auf niedrige Gehalte von nicht oxidierenden Bioziden reagieren, die den Betrieb der Behandlungsanlage stören könnten. Die Inhibierung von aktiven Schlamm von 60 % und mehr (100 %) wurde berichtet. Die physikalische/chemische Behandlung von Bioziden befindet sich noch auf einer experimentellen Ebene. Die Polarität der nicht oxidierenden Biozide wird ein Hindernis für die physikalische Behandlung sein, da sie in der Wasserphase verbleiben werden.

Das Abfluten von offenen Rezirkulationssystemen ist die kontrolliertere Bahn, auf der Biozide in die äußere Umgebung eindringen. Bei geschlossenen Systemen wird das Abfluten nicht durchgeführt. Spülungen werden vorgenommen, aber sie sind gering und werden gewöhnlich in ein Abwassersystem abgelassen. Es ist offensichtlich, dass die Konzentration von Bioziden im Kühlwasser unmittelbar nach der Dosierung am höchsten ist und folglich die Konzentration in der Ableitung oder der Spülung. Durch chemische Reaktionen im Kühlwasser des Systems, z.B. Hydrolyse, wird sich die Biozidkonzentration allmählich verringern und dieses Wissen kann dazu verwendet werden, die erwartete Konzentration in der Ableitung zu schätzen. Diese Informationen werden auch verwendet, wenn man die Abflutung nach der Behandlung schließt, um die Ableitung von Bioziden mit einem hohen Grad chemischer Aktivität zu verhindern. Um eine weitere Optimierung zu erreichen, sind mehrere Faktoren wichtig. Neben der Konzentration im Wasseraustritt ist hier auch die Prozess-Steuerung absolut erforderlich.

3.4.2.3 Faktoren, die die Biozidemission beeinflussen

Faktoren, die die Ableitung und die Persistenz in der aufnehmenden aquatischen Umgebung beeinflussen, wurden für eine Anzahl von allgemein angewandten oxidierenden und nicht oxidierenden Bioziden ausführlich

beschrieben [tm004, Baltus and Berbee, 1996]. Die folgenden Faktoren spielen im Zusammenhang mit den Bedingungen des Kühlprozesses bei der Auswahl des Kühlwasserbehandlungs-Programms eine Rolle:

- Hydraulische Halbzeit (die System-Halbwertzeit wird auch verwendet);
- Hydrolyse;
- biologischer Abbau;
- Photolyse;
- Flüchtigkeit.

Das Volumen des Abflutens bestimmt die hydraulische Halbzeit. Je umfangreicher das Abfluten ist, umso kleiner ist die hydraulische Halbzeit und umso kürzer die Retentionszeit des Biozids. Wegen ihrer schnellen Dissoziation und Funktion beeinflusst die hydraulische Halbzeit die Funktion der oxidierenden Biozide nicht, aber bei den nicht oxidierenden Bioziden begrenzt sie deren Funktion.

Die Hydrolyse eines nicht oxidierenden Biozids findet bei einem gewissen pH-Wert und gewisser Wassertemperatur statt. Im Allgemeinen nimmt die Hydrolyse bei steigendem pH-Wert und/oder steigender Temperatur zu und die Biozidwirkung nimmt ab. Als Folge davon wird die niedrigere Temperatur des aufnehmenden Wassers die Hydrolyse weiter verlangsamen und die Persistenz der nicht oxidierenden Biozide in der aquatischen Umgebung erhöhen.

Biologische Abbaubarkeit, Photolyse und Flüchtigkeit spielen keine wichtige Rolle beim Abbau von nicht oxidierenden Bioziden. Die Photolyse kann stattfinden, wenn die aquatische Umgebung dem Sonnenlicht ausgesetzt ist. Verdunstung kann im Fall von oxidierenden Bioziden (Hypochlorit) eine Rolle spielen. Man kann die Forschung zitieren, in der man herausfand, dass der sogenannte Abtriebeffekt der Kühltürme für einen Verlust von 10 – 15 % Hypochlorit bei jedem Durchlauf des Kühlturms verantwortlich war. Bei Hypochlorit wirkt sich der pH-Wert auf die Verdunstung aus.

Die biologische Abbaubarkeit von Bioziden ist abhängig von der Menge der organischen und anorganischen Stoffe und der biologischen Abbaubarkeit des Biozids selbst. Ein große Population von Mikroben, Temperaturanstieg und höherer Sauerstoffgehalt des Kühlwassers oder des aufnehmenden Wassers steigert die biologische Abbaubarkeit. Oberflächenwasser enthält eine Menge organischer Schwebstoffe, die die Biozide adsorbieren können. Dies führt zu einer Ansammlung im Sediment. Biozide können auch durch organisches Material vermindert werden.

3.4.2.4 Höhe der Emissionen

Es ist schwierig, über repräsentative Konzentrationshöhen in Kühlwasseremissionen an das Oberflächengewässer zu berichten. Die Quantifizierung der Emissionen von Stoffen in der Ableitung von Kühlwasser wurde versucht und Modelle dafür wurden entwickelt. Wegen der Spezifität der Standorte kann man über kein allgemein anwendbares Modell berichten, das alle Gesichtspunkte in Betracht zieht. Viele Annahmen müssen getroffen werden und obwohl sie einen Hinweis liefern, könnten die Abflüsse leicht über- oder unterschätzt werden. Ein Beispiel für ein Modell für Biozide in einen offenen Nasskühlturm wird erläutert unter [tm004, Baltus and Berbee, 1996] in Anlage IX.

3.4.2.5 Gesetzgebung

In vielen Mitgliedstaaten werden die Chemikalien in Kühlwasseremissionen in der Gesetzgebung über die Verschmutzung der Oberflächengewässer behandelt. Die Gesetze konzentrieren sich gewöhnlich auf Abflüsse mit einem abgegebenen Mindestvolumen (in m³/Tag). In einigen Gesetzgebungen (z.B. Italien) werden die aufnehmenden Gewässer klassifiziert und jedes hat ein unterschiedliches Niveau für die entsprechenden Emissionsparameter des abgegebenen Wassers.

Die erforderliche Qualität des abgegebenen Wassers setzt dem Vorhandensein gewisser Chemikalien (z.B. Chrom, Zink oder Quecksilberverbindungen) Grenzen und vermindert damit die Verwendung bestimmter Kühlwasserzusätze.

Für große und kleine Ableitungsvolumina werden die Anforderungen an Temperatur und pH-Werte festgesetzt. Im Allgemeinen darf die Temperatur über die meiste Zeit im Jahr ein Maximum nicht überschreiten. Eine

gewisse Flexibilität wird eingeräumt durch die Veränderung der Ableitungstemperaturlimits unter ungünstigen jahreszeitlichen Bedingungen wie zum Beispiel Feuchttthermometertemperaturen, die im Mittelmeerklima bis zu 40°C reichen.

Spezifischere Anforderungen an die chemische Zusammensetzung weisen zwischen den Mitgliedstaaten Unterschiede auf, aber decken im Allgemeinen die Anforderungen an die Konzentration von adsorbierbaren organischen Halogenen (AOX), gelösten Sauerstoff, biologischen Chemikalienbedarf (BOD), chemischen Sauerstoffbedarf (COD), Chlorsubstanzen und Phosphorverbindungen und die Wirkungsdauer auf lumineszierende Bakterien ab. Einige Gesetze unterscheiden zwischen verschiedenen Typen von Kühlsystemen (Durchlauf oder Rezirkulation) oder berücksichtigen bestimmte Betriebsarten wie zum Beispiel schockartige Behandlung mit mikrobioziden Stoffen.

In den Niederlanden beruhen die Anstrengungen zur Bekämpfung auf den immanenten Eigenschaften von Stoffen und Risikobeurteilungen. Um es einer Gesellschaft und den Wasserbehörden zu ermöglichen, den Wasserverschmutzungseffekt von Stoffen und Zubereitungen unzweideutig zu ermitteln, wurde eine allgemeine Auswertungsmethodologie entwickelt. Diese Auswertungsmethodologie beruht auf der europäischen Richtlinie über Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung (67/548/EWG).

Entsprechend den Eigenschaften eines Stoffe muss BTM oder BPM angewendet werden. Nach der Anwendung von BTM/BPM wird die restliche Ableitung im Vergleich zu den anzuwendenden Wasserqualitätszielen ausgewertet. Falls diese Ziele nicht erreicht werden, kann auf weitere Maßnahmen hingewiesen werden.

Europarechtliche Anforderungen betreffend die Anwendung von Kühlwasserzusätzen kann man insbesondere finden in:

- der Richtlinie des Rates betreffend die Verschmutzung infolge der Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe in die Gewässer der Gemeinschaft (76/464/EWG),
- der Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG),
- der Zubereitungsrichtlinie (1999/45/EG) und
- der Richtlinie für biozidale Produkte (1998/8/EG).

3.4.3 Verminderung von Emissionen in Oberflächengewässer

3.4.3.1 Allgemeiner Ansatz

Verfahren zur Verminderung von Emissionen in Oberflächengewässer aufgrund der Anwendung von Kühlwasser sind:

1. Verminderung der Korrosion der Kühlausrüstung
2. Verminderung der Leckage von Prozess-Stoffen in den Kühlkreislauf
3. Anwendung von alternativer Kühlwasserbehandlung
4. Auswahl von weniger gefährlichen Kühlwasserzusätzen
5. Optimierte Anwendung von Kühlwasserzusätzen

Gemäß IVU-Ansatz sollte die Reduzierung der Emissionen aufgrund der Kühlwasserbehandlung darauf abzielen, die erforderliche Behandlung zu vermindern (Verhinderung) und die Auswahl und optimale Anwendung von Zusätzen (Umweltschutz) innerhalb der Anforderung an einen maximalen Wärmetausch zu optimieren. Es stehen viele Optionen zur Verfügung, die Emission von Chemikalien in die Ableitung von Kühlwasser zu vermindern. Zusätzlich zu der in Kapitel I erläuterten Bewertung der geeigneten Kühlkonfiguration und in Übereinstimmung mit dem vorsorgenden Prinzip der Anwendung von BVT bei industriellen Kühlsystemen können die Verminderungsoptionen in einer gewissen Reihenfolge in Betracht gezogen werden. Für neue Kühlsysteme mit hoher Kapazität wurde ein Ansatz entwickelt, um die Emissionen in das Oberflächengewässer zu vermindern [tm001, Bloemkolk, 1997].

Für die Auswahl von Bioziden in sowohl neuen als auch bestehenden Systemen wurde ein Ansatz entwickelt [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. Beide Ansätze beinhalten mehr oder weniger die gleichen Schritte und folgt man diesen Schritten, so sichert dies, dass alle wichtigen Faktoren im Zusammenhang mit der Verminderung der Verwendung von Zusätzen berücksichtigt werden. Die Ansätze werden gezeigt in Abbildung 3.2 und 3.3.

Für die Optimierung der Biozidanwendung existiert eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die oft zusammenhängen. Beim Aufbau eines Optimierungsschemas bietet ein strukturierter Ansatz oft Vorteile. Empfehlungen werden jetzt mit Hilfe von zwei Ablaufdiagrammen vorgelegt, eines für Kühlwassersysteme in der Auslegungsphase und ein weiteres für bestehende KWS. Diese Diagramme bieten einen stufenweisen Ansatz für die Optimierung von Bioziden.

Abbildung 3.2 wird wie folgt erläutert [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. In der Auslegungsphase eines Kühlwassersystems sollte eine Entscheidung über die Art der zu verwendenden Kühlung getroffen werden. Falls Wasserkühlung verwendet wird, so sollten die technischen Lösungen berücksichtigt werden, die die erwartete Bewuchspopulation im KWS bekämpfen. Wichtige, in der Auslegungsphase zu berücksichtigende Themen sind: Aufrechterhaltung von ausreichend hohen Fließgeschwindigkeiten in allen Teilen des Kühlwassersystems und eine glatte Auslegung der Rohrleitungen und Wärmetauscher. Dies wird die Ablagerung von Bewuchsorganismen vermindern. Die Anwendung von nicht toxischen, die Verschmutzung abbauenden Beschichtungen wird dazu beitragen, die Ansiedlung von Organismen weiter zu vermindern. Die Aufnahmestruktur sollte so ausgelegt werden, dass das Mitreißen von Sediment und Organismen minimiert wird. Filtergeräte und Einlaufrechen können die Menge des eindringenden groben Materials weiter vermindern. Die Verwendung von hochbeständigen Materialien muss in Betracht gezogen werden. Für Wärmetauscher kann dies Titan (korrosionsbeständig, glatte Oberfläche) sein. Hydrodynamisch ausgelegte Ein- und Auslasskästen der Wärmetauscher können aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt werden. Dieses Material kann auch für Rohrleitungen und Verbindungsstellen im System verwendet werden. In der Auslegungsphase können auch relativ einfache Vorkehrungen getroffen werden, zum Beispiel Anschlüsse für chemische und biologische Überwachungsgeräte oder für die Dosierung (z.B. spezielle Dosierungsgestelle und -spitzen) oder komplexere Geräte für die mechanische Säuberung, wie zum Beispiel Muschelsiebe oder Schaumgummi-Ballsysteme. In einigen Fällen kann die Wärmebehandlung zur Bekämpfung der Makroverschmutzung eingesetzt werden und dann benötigt man überhaupt kein Biozid. Für die Anwendung der Wärmebehandlung ist es erforderlich, einen speziellen Kreislauf im Kühlwassersystem (KWS) vorzusehen. Weitere Möglichkeiten zur Optimierung ähneln denen in bestehenden Systemen.

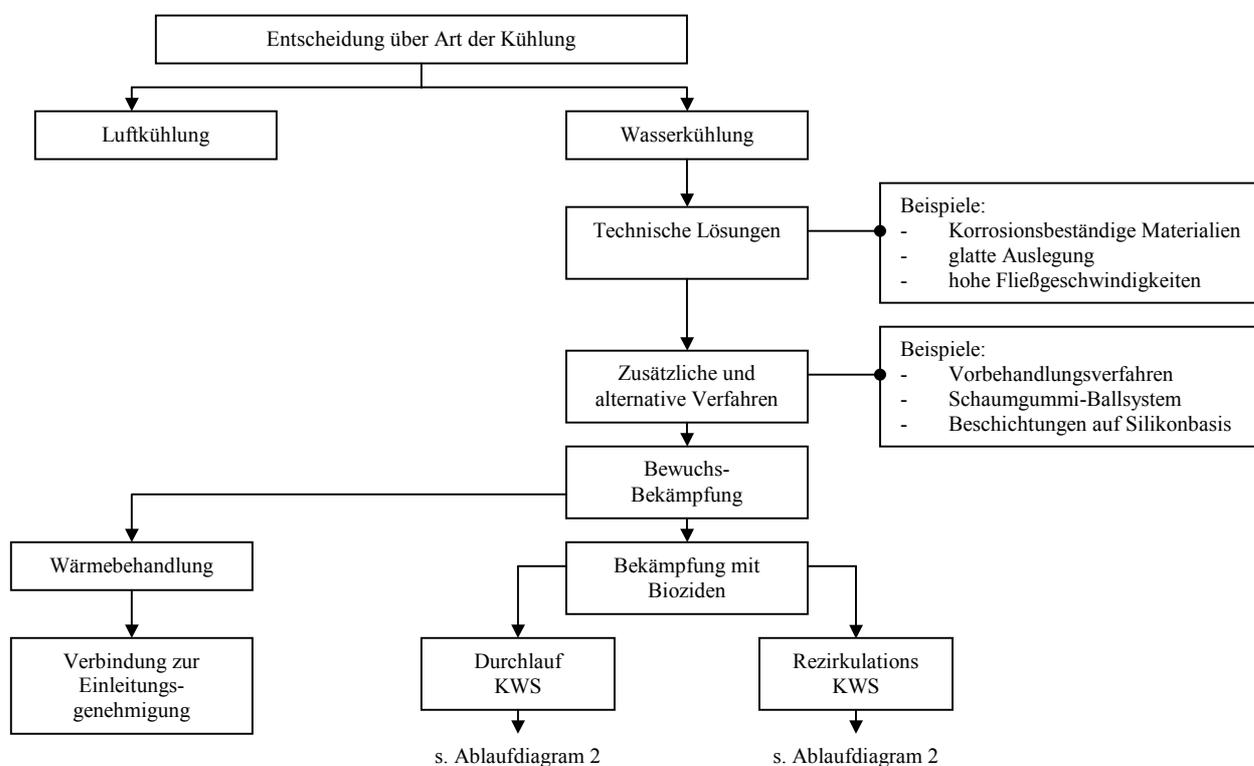


Abbildung 3.2: Auslegungsschema für Kühlwassersysteme, die sich eine Verminderung der Biozidanwendung zum Ziel setzen

[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

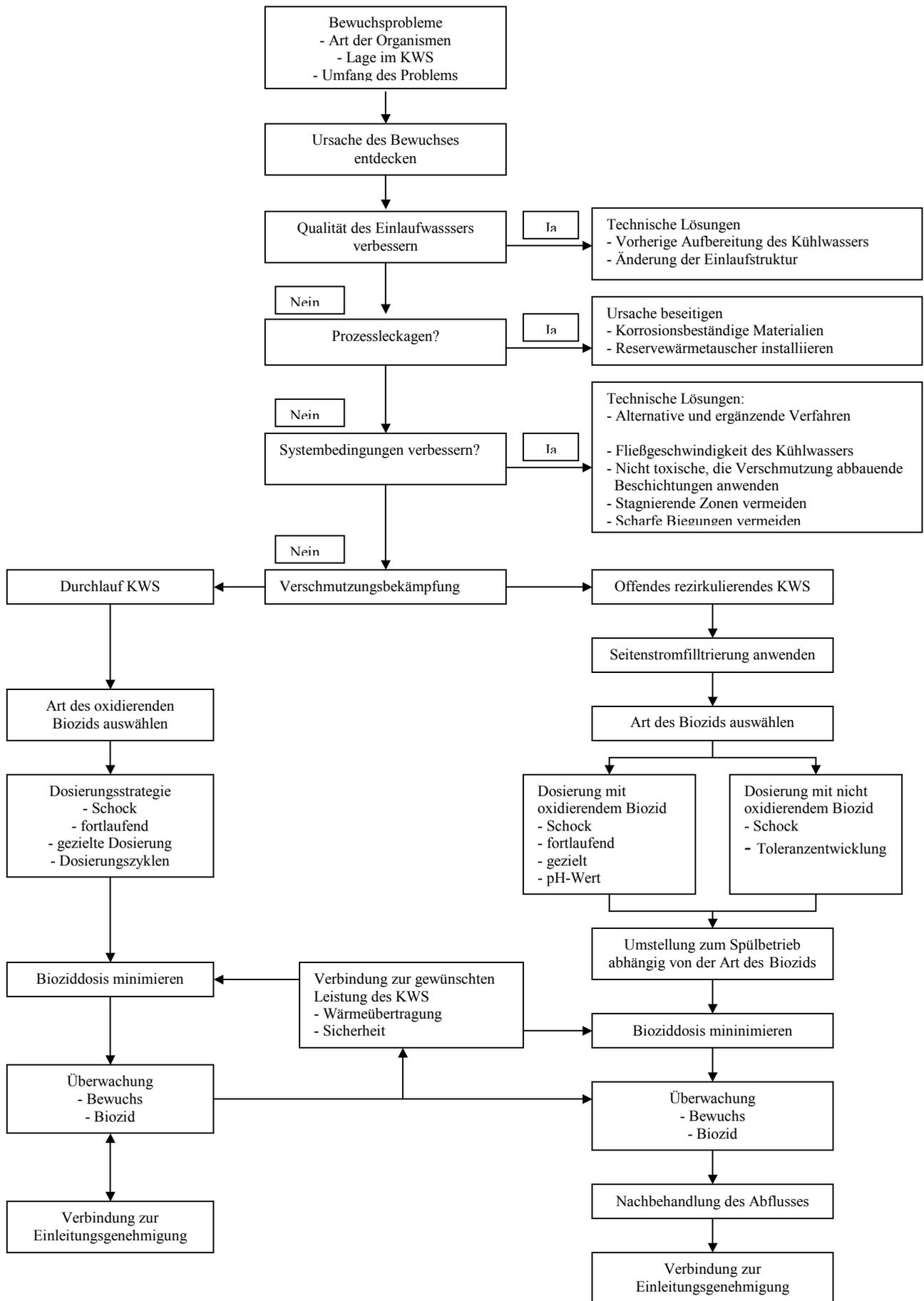


Abbildung 3.3: Ansatz für die Verminderung der Verwendung von Bioziden in industriellen Kühlwassersystemen [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Abbildung 3.3. zeigt alle Schritte, die bei der Auswahl von Bioziden zu berücksichtigen sind [tm005, Van Donk and Jenner, 1996]. In einem bestehenden KWS ist es wichtig, die Bewuchspopulation zu bestimmen sowie den Umfang des Risikos des Bewuchses. Die angemessene biologische Überwachung ist eine Voraussetzung dafür.

Die Ursache des Problems des Bewuchses sollte analysiert und angegangen werden. Die Qualität des Kühlwassers kann durch vorhergehende Aufbereitung des Wassers (z.B. Mikro- und Makro-Filterung) verbessert werden. Dies kann einen Teil des Bewuchsrisikos entfernen, indem sie die Menge der ankommenden Organismen und Nährstoffe vermindert. Falls Prozessleckagen der Hauptgrund für das gesteigerte biologische Wachstum sind, sollten sie beseitigt werden, zum Beispiel durch die Verwendung von korrosionsbeständigem Material oder durch die Installation von Reservewärmetauschern, was eine häufigere mechanische Säuberung ermöglicht. Um die Systembedingungen zu verbessern sollten alle im Projekt 1 erwähnten Optionen berücksichtigt werden.

In Durchlaufsystemen wird die Makro-Verschmutzung manchmal durch die Anwendung von Wärmebehandlung ohne die Verwendung von Bioziden bekämpft. Natrium-Hypochlorit ist das wichtigste Biozid, das angewendet wird. Die Dosierung erfolgt im Schock oder fortlaufend. Die Dosierungsstrategie für die Bekämpfung der Makro-Verschmutzung sollte vorbeugend sein, da die heilende Dosierung sehr hohe Dosen über längere Zeiträume erfordert, wenn sich eine Makro-Verschmutzung überreichlich entwickelt hat. Es wird empfohlen, die Option einer gezielten Dosierung an Standorten mit einem hohen Verschmutzungsrisiko, wie zum Beispiel Ein- und Auslasskästen an Wärmetauschern, zu berücksichtigen. Die chemische Überwachung ist unbedingt notwendig, um die minimal benötigte Dosierung von Biozid zu ermitteln. Da die angewendete Konzentration von oxidierendem Biozid im KWS abnimmt, sind chemische Überwachungsgeräte erforderlich, um den wirksamen Restbestand an Biozid an den kritischen Punkten des KWS zu registrieren. On-line-Messgeräte sollten auf regelmäßiger Basis mit dem kolorimetrischen DPD-Test manuell kalibriert werden. Für Optimierungsprojekte ist auch die Messung von Biozidkonzentrationen im Kühlwasser auf der Grundlage der Toxizität nützlich. Überwachungsgeräte für die Makro-Verschmutzung liefern Informationen über die Ablagerung und das Wachstum von Organismen der Makro-Verschmutzung und über die Leistung des Bewuchsbekämpfungsprogramms. Diese Informationen sind unbedingt erforderlich für Biozid-Optimierungsprogramme in Durchlaufsystemen, die Probleme mit der Makro-Verschmutzung haben.

In offenen Rezirkulationssystemen ist die Mikro-Verschmutzung sehr viel wichtiger als die Makro-Verschmutzung. Überwachungsgeräte der Mikro-Verschmutzung, wie zum Beispiel die ATP-Methode und das "Petrischälzählverfahren", liefern wichtige Informationen über die Entwicklung und den Zustand der Population der Mikro-Verschmutzung im KWS. Um das Eindringen von Organismen und Nährstoffen mit dem Kühlwasser zu verhindern, kann das Einlaufwasser vorbehandelt werden (z.B. Mikrofiltrierung, Ausfällung). Die Seitenstromfiltrierung, die laufende Filtrierung eines Teils des rezirkulierenden Wasservolumens, trägt weiter dazu bei, die Menge des organischen Materials im Kühlwasser zu vermindern. Damit kann die Menge an Biozid vermindert werden, die für eine erfolgreiche Behandlung erforderlich ist. Seitenstromfilter sollten vorzugsweise während der Schockdosierung von Biozid zeitweilig geschlossen werden. Dies vermeidet einen unnötigen Biozidbedarf seitens des Filters und vermeidet das Abtöten der mikrobiellen Population auf dem Filter.

In rezirkulierenden Kühlwassersystemen werden oxidierende und nicht oxidierende Biozide verwendet. In den Niederlanden werden ca. 90 % der rezirkulierenden Systeme mit Natrium-Hypochlorit behandelt. Nicht oxidierende Biozide werden nur verwendet, wenn die oxidierenden Biozide keinen ausreichenden Schutz gewähren können. Für oxidierende und nicht oxidierende Biozide wird die unterbrochene oder Schockdosierung empfohlen, um ihre Verwendung zu vermindern, obwohl in einigen Fällen die kontinuierliche Halogenierung auf niedriger Höhe weniger Chemikalien verbrauchen kann als die Schockdosierung. Dies vermindert auch das Risiko der Entwicklung einer Toleranz der Biologie. Akkurate chemische analytische Feldverfahren sind für die nicht oxidierenden Biozide erforderlich, um deren Verwendung zu optimieren. Die Möglichkeiten für die Hypochlorit-Messung wurden bereits erwähnt. Biologische Methoden zur Messung von Biozidkonzentrationen im Kühlwasser können auch in rezirkulierenden Systemen hilfreich sein.

Falls es möglich ist, wird empfohlen, das Abfluten während der Schockdosierung von sowohl oxidierenden als auch nicht oxidierenden Biozide zu schließen oder zu reduzieren, um die Emissionen aktiver Biozide zu vermindern. Dies ist besonders wirksam bei schnell reagierenden oder disintegrierenden Bioziden. Es wird weiter empfohlen, ein mit Hypochlorit behandeltes rezirkulierendes KWS mit einem pH-Wert von 8-9 zu

betreiben, um Verdunstungsverluste von HOCl über den Kühlturm zu minimieren. Die Erfahrung hat gezeigt, dass dies nicht notwendigerweise zu einer verminderten Wirksamkeit des Biozids führt. Es ist jedoch wichtig, das Kesselsteinrisiko in Grenzen zu halten.

Die kombinierte Verwendung von Hypochlorit und Bromid kann eine attraktive Option in Süßwasser-KWS und auch in Durchlauf-KWS sein, da einige Nebenprodukte – die bromierten Amine – eine stärkere biozidale Wirkung haben als ihre chlorierten Homologe und sie bauen schneller ab.

In rezirkulierenden Systemen mit hoher Wasserqualität kann Ozon eine Option sein. Hier ist es wichtig, auf das Korrosionsrisiko zu achten. Einige praktische Erfahrungen in Europa waren mit der Anwendung von Ozon erfolgreich. Schließlich kann UV-Licht als zusätzliches Verfahren in rezirkulierenden Systemen Möglichkeiten bieten. UV-Licht allein kann jedoch den Bewuchs nicht angreifen, der sich auf den Oberflächen der KWS abgesetzt hat. Um wirkungsvoll zu sein, wird relativ klares Kühlwasser benötigt, da das Licht in der Lage sein muss, in die Wassersäule einzudringen.

Der Ansatz kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Die Verfügbarkeit von Wasser entscheidet neben anderen Faktoren über die gewählte Kühlkonfiguration (Durchlaufkühlung, offener oder geschlossener Kühlkreislauf mit Nasskühlturm oder Hybridkühlturm). Die gewählte Konfiguration kann sich wiederum auf die Art der Wasserbehandlung auswirken. Diese unterscheiden sich im Allgemeinen zwischen Durchlauf- und offenen Nasskühltürmen, zum Beispiel in der Anwendung von oxidierenden und nicht oxidierenden Bioziden.
2. Sobald eine Systemwahl getroffen wurde (siehe auch Kapitel 1), muss ein komplexes Auswertungsprojekt angewendet werden, um es mit den zahlreichen Kombinationen zwischen den folgenden Optionen aufnehmen zu können, die sich weiterhin auf die erforderliche Kühlwasserbehandlung auswirken:
 - Wahl des Materials und der Oberflächenbehandlung von Wärmetauschern und Rohrleitungen;
 - Auslegung des Kühlsystems, um Turbulenzen, Ablagerungen und Muschelwachstum zu vermeiden oder die erforderliche Wassergeschwindigkeit zu verbessern;
 - die Kühlwasserchemie durch Vorbehandlung verbessern;
 - mechanische Säuberung des Kühlsystems;
 - alternative Behandlungen, wie zum Beispiel thermisch, UV und Seitenstromfiltrierung.

Es hängt vom Ergebnis dieser Auswertung ab, ob ein Nasskühlsystem noch einen gewissen Schutz gegen Kesselstein, Korrosion oder Bewuchs benötigen kann. Dies ist eine Frage der Chemie des Kühlwassers, der Art und Weise, wie das System betrieben wird, zum Beispiel der Anzahl der Konzentrationszyklen, und der gewählten Kühlkonfiguration.

Es ist klar, dass für eine Kreislauf-Trockenluftkühlung oder mit Trockenluft gekühlte Kondensatoren keine derartige Behandlung erforderlich ist. Chemikalien können dazu verwendet werden, die äußeren (mit Rippen versehenen) Röhren zu säubern, aber gewöhnlich nicht zum Betrieb des Systems.

Sobald die Erfordernis für eine Kühlwasserbehandlung festgestellt wurde, ist eine genaue Auswahl des Kühlwasser-Behandlungsprogramms in Verbindung mit den gesetzlichen Anforderungen angebracht. Diese Anforderungen können Folgendes umfassen:

- Verbot der Verwendung gewisser Stoffe für die Kühlwasserbehandlung, z.B. Chrom, Quecksilberverbindungen, organometallische Verbindungen, Nitrite, Mercaptobenzothiazole;
- Begrenzung bestimmte Stoffe oder Stoffgruppen; (z.B. Zink, Phosphor, Chlor, AOX) im Kühlwasserabfluss durch die Festlegung von Emissionsgrenzwerten;
- Erfordernis einer Mindesthöhe biologischer Abbaubarkeit für komplexbildende Agenzien;
- Begrenzung der ökotoxikologischen Auswirkungen auf den Kühlwasserabfluss.

Die Auswahl von Zusätzen für die Behandlung von Kühlwasser sowohl in neuen als auch in bestehenden Systemen mit dem folgenden Ansatz führt zu einer Verminderung der Emissionen von Kühlwasserchemikalien:

1. die Notwendigkeit der Kühlwasserbehandlung feststellen, nachdem andere physikalische Säuberungsmethoden angewandt wurden;
2. die Art der erforderlichen Zusätze auswählen;
3. das Umweltrisiko der anzuwendenden Stoffe beurteilen;
4. Stoffe anwenden, die ein geringeres Potential für Umweltbelastungen haben, wo dies möglich ist.

3.4.3.2 Verminderung über Materialauswahl und Systemauslegung

Bei neuen Systemen können Material- und Auslegungsoptionen angewandt werden, um den Verbrauch von Zusätzen zu vermindern. Für die Ausrüstung von Kühlsystemen werden viele verschiedene Materialien verwendet. Die Lieferanten von Ausrüstungen bieten ihre Ausrüstungen gewöhnlich in einer großen Auswahl von Metallen und Legierungen an, um es dem Betreiber zu ermöglichen, das Material auszuwählen, das sich für die Chemie des Kühlwassers und die Prozessbedingungen eignet, für das es vorgesehen ist. Die Anlage IV erläutert die Materialien für Durchlauf- und offenen Rezirkulationssysteme, die Brack- oder Salzwasser verwenden. Es ist wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, dass einige Merkmale eines Materials entgegengesetzte Eigenschaften aufweisen können, die die Auswahl des Materials schwieriger machen und Auswirkungen auf das Behandlungsprogramm des Kühlwassers haben werden. So kann zum Beispiel verminderte Anfälligkeit für Korrosion zusammengehen mit einer erhöhten Anfälligkeit für Bewuchs.

Ordnungsgemäße Auslegung und Bau eines Kühlsystems können den Bedarf an Kühlwasserzusätzen beeinflussen. Bei der Errichtung sollten unnötige Grate ebenso wie abrupte Richtungswechsel der Wasserströmung vermieden werden. Beide führen zu Turbulenzen und wo dies möglich ist, sollten sie vermieden werden, da sie die Korrosion oder die Ansiedlung von z.B. Muscheln steigern.

Der Betrieb des Systems mit der entsprechenden Mindestgeschwindigkeit des Wassers hält nicht nur die erforderliche Kühlleistung aufrecht, sondern vermindert auch die Ablagerung von Makro-Verschmutzung und die Korrosion des Materials.

Beschichtungen und Anstriche werden angelegt, um die Verfestigung von Organismen zu vermindern, den Geschwindigkeitseffekt zu verbessern und die Säuberung zu erleichtern. Diese den Bewuchs verhindernden Anstriche können toxische Stoffe enthalten und deshalb wurden ungiftige Beschichtungen und Anstriche entwickelt. Die Anwendbarkeit unter Wasser und die Preise sind unterschiedlich und hängen von der Größe des Kühlsystems und den Bedingungen ab. So werden zum Beispiel organische Beschichtungen bei verhältnismäßig kleineren Kühleinheiten mittels thermischer Aushärtung angebracht. Dies sind Pulverbeschichtungen, die in nassen Umgebungen verwendet werden können und keine toxischen Stoffe enthalten, keine Lösungsmittel verwenden und korrosionsbeständig sind; dies führt zu einer bedeutenden Verlängerung der Nutzungsdauer der Ausrüstung.

In größeren Nasskühlsystemen werde auch Beschichtungen angebracht und die Erfahrung in der Energiewirtschaft zeigt, dass sie alle 4 – 5 Jahre erneuert werden müssen. Ein Beispiel wird in Anlage XI aufgeführt. Bewuchsverhütende Anstriche wurden verwendet, die toxische Stoffe wie Kupfer und Tributyl-Zinnoxid (TBTO) enthalten, die langsam von der Farbe abgegeben werden. In großen Anlagen wie Kraftwerken werden keine Anstriche mehr verwendet, die TBTO enthalten. Im begrenzten Umfang können möglicherweise noch Anstriche verwendet werden, die Kupfer enthalten.

3.4.4 Verminderung durch Anwendung von zusätzlicher und alternativer Kühlwasserbehandlung

Eine Anzahl von Verfahren wurde angewendet, um die Kühlwasserbehandlung zu vermindern. Über die folgenden Verfahren für die Verminderung der Verwendung von Bioziden wurde berichtet [tm005, Van Donk and Jenner, 1996] :

- Filtrierung und Verfahren zur vorhergehenden Aufbereitung
- Säuberung im Betrieb
- Säuberung bei Betriebsunterbrechungen
- Wärmebehandlung
- Beschichtungen und Anstriche
- Ultraviolettes (UV) Licht
- Schalltechnologie
- Osmotischer Schock

Das hinter diesen Verfahren stehende Prinzip ist, die biologische Qualität des Kühlwassers zu verbessern und die Oberflächen der Bestandteile der Kühlsysteme (Rohrleitungen und Wärmetauscher) so sauber wie möglich zu halten, ein Umfeld im System zu schaffen, in dem die Entwicklung des Bewuchses vermindert wird. Die

Anwendung dieser Verfahren ist zusammengefasst in Anlage XI und es ist offensichtlich, dass einige von ihnen noch nicht allgemein angewendet werden oder sich noch in der Untersuchung befinden. Der Nutzen für die Umwelt sollte gegenüber der verminderten Anwendung von Chemikalien abgewogen werden.

So benötigt zum Beispiel UV-Licht relativ klares Wasser, während Ozon und die Schalltechnologie zusätzlich zugeführte Energie benötigen. Die elektrische Wasserbehandlung, die in einem sehr kleinen Kühlsystem (<1m³/min) angewandt wurde, das bei Temperaturen von 30 – 40°C betrieben wurde, erzielte vielversprechende Ergebnisse als nicht chemische mikrobielle Bekämpfungsmethode, bedarf aber noch weiterer Forschung.

Die finanziellen Kosten können sich ändern mit der Größe des Systems und dem Ausmaß, in dem die Verfahren in das Kühlsystem integriert werden müssen.

Die Vorbehandlung des Wassers für rezirkulierende Nasskühlsysteme zur Verminderung der Verwendung von Zusätzen kann im gleichen Licht gesehen werden wie die Vorbehandlung des Wassers zur Verminderung des Wasserbedarfs (siehe Abschnitt 3.3.1.2). Die Vorbehandlung wirkt sich auf die Chemie des Kühlwassers aus, z.B. Senkung des Salzgehalts; dies hat Auswirkungen auf den erforderlichen Umfang der Kesselstein- und Korrosionsverhinderung und beeinflusst die Betriebsart des Kühlsystems.

Es wurde jedoch wenig berichtet über die Wirkung der Vorbehandlung von Kühlwasser auf die Verminderung der Verwendung von Kühlwasserzusätzen, aber die Umkehrosmose für geschlossene Kühlsysteme und die Seitenstromfiltrierung für offene Kühlsysteme haben nach den Berichten gute Ergebnisse (Anlage XI) erzielt. Niedrigere Kosten für die Wasserzufuhr, die Aufbereitung des Abflutens und die Dosierung von Korrosions-, Kesselsteinschutzmitteln und Dispergiermitteln wurden berichtet. Es war keine Neuauslegung des Kühlsystems erforderlich.

3.4.5 Emissionsverminderung durch Beurteilung und Auswahl von Kühlwasserzusätzen

Nachdem alle technologischen und betrieblichen Maßnahmen ausgewertet wurden, sind die Beurteilung und Auswahl von Zusätzen für die Kühlwasserkonditionierung der nächste Schritt, den man hin zur Anwendung von Stoffen unternehmen muss, die ein geringeres Potential für die Verursachung von Umweltbelastungen haben, falls sie ordnungsgemäß verwendet werden. In Abschnitt 3.4.1 und noch ausführlicher in Anlage V wird die Theorie der Behandlung des Kühlwassers beschrieben und die Auswahl des richtigen Behandlungsprogramms ist klar eine standortbezogene und sehr komplexe Übung. Sie zieht viele Faktoren in Betracht, wie das zur Installation verwendete Material, die Wasserqualität und die betriebliche Praxis. Als Ergebnis davon wurde eine große Anzahl von Verbindungen und deren Kombinationen entwickelt, die zur Zeit in den Verbindungen der Kühlwasserbehandlung angewandt werden.

Ihre Leistung im Kühlsystem wird ausgewertet und mit der restlichen Reaktivität in der aquatischen Umgebung nach dem Ausstoß abgeglichen. Die Herausforderung liegt hier darin, einen Zusatz auszuwählen, der im Kühlsystem wirkungsvoll ist, aber harmlos, sobald er das Kühlsystem verlässt und in das aufnehmende aquatische System eintritt.

Über die Anwendung von verschiedenen Arten von Kühlwasserchemikalien in den verschiedenen Arten von Kühlsystemen wurde in der Literatur berichtet. Es scheint, dass ihre Umweltbelastung komplex ist und von vielen verschiedenen Faktoren abhängt. Beispiele zeigen klar, dass der optimierte Betrieb die erforderliche Menge an Zusätzen vermindert, und dass dies auch zur Anwendung von verschiedenen Arten von Zusätzen führen kann (siehe 3.4.6).

Im Allgemeinen wird in der EU die Bewertung von Chemikalien als notwendig angesehen und es wurden Versuche unternommen, die Auswirkungen ihrer Verwendung auf die Umwelt zu vermindern, aber die Schwierigkeiten, auf die man sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene stieß, bestehen daraus, dass:

- es eine Vielzahl von Beurteilungsmethoden gibt, die für verschiedene Anwendungen verwendet werden;
- die Verfügbarkeit von Daten zu Stoffen und Bestandteilen von Zubereitungen (noch) ein Problem ist;

- eine Vielzahl von Parteien für die Bewertung von Stoffen zuständig ist;
- in vielen Ländern eine Bewertung auf Risikobasis noch entwickelt werden muss;

Um die Anwendung zu kontrollieren und die Verwendung von Alternativen zu steigern, wurde das Wissen um die technischen Daten von Behandlungskemikalien in einigen Mitgliedstaaten in gesetzliche Anforderungen für Wasserbehandlungskemikalien übertragen. Die deutsche Gesetzgebung wird als Beispiel zitiert.

Die Anlage 31 der deutschen Abwasserverordnung über Kühlwasseremissionen ist ein Beispiel für die Gesetzgebung, die auf die Optimierung der Verwendung von Kühlwasserzusätzen und die Erhaltung der Qualität der Oberflächengewässer abzielt. Dies führte zu Beschränkungen für die Zuführung bestimmter Stoffe wie Biozide und anderer Stoffe und deckt alle Nasskühlssysteme ab (siehe Anlage VI).

Dies Regelungen gründen sich auf vier Schritte

1. Eine Liste der verbotenen Stoffe, die Folgendes enthält:
 - Chromverbindungen
 - Quecksilberverbindungen
 - organometallische Verbindungen (z.B. Organozinnverbindungen)
 - Mercaptobenzothiazol
 - organische Komplexbildner, die nicht ohne weiteres biologisch abbaubar sind
 - keine Schockbehandlung mit Biozidstoffen mit Ausnahme von Chlor, Brom, Ozon und Wasserstoffperoxid
2. Begrenzung bestimmter Stoffe und Stoffgruppen im Abwasser bezüglich:
 - Chlordioxid, Chlor und Brom
 - AOX
 - COD
 - Phosphorverbindungen (anorganische und gesamte Phosphonate)
 - Zink
3. Erfordernis der schnellen biologischen Abbaubarkeit aller verwendeten organischen Stoffe wo die anwendbare Erfordernis der "schnellen biologischen Abbaubarkeit" übereinstimmt mit dem Chemikaliengesetz und Teil C4 der Anlage zur Richtlinie 92/69 EC (31. Juli 1992).
4. Die Begrenzung der ökotoxischen Wirkungen der bioziden Stoffe des gesamten Kühlwasserabflusses verbietet nicht deren Verwendung, da dies die Verwendung von mikrobioziden Stoffen unmöglich machen würde. Diese können jedoch für den Betrieb und die ordnungsgemäße Funktion von offenen und halboffenen Kühlwassersystemen entscheidend sein. Die Regelungen verlangen Informationen über die Höhe und die Art der Toxizität und fordern, dass diese in reproduzierbarer Form zum Ausdruck kommen. Es werden Biotests verwendet, wie zum Beispiel der Verdünnungsfaktor (T_L), um die Resttoxizität im Abfluss im Vergleich zur Toxizität im Kühlsystem zum Ausdruck zu bringen.

Trotz der legislativen Begrenzungen der Verwendung einer Anzahl von Kühlwasserchemikalien steht eine große Zahl von Zusätzen zur Verfügung und die Auswertung und Auswahl von Alternativen ist erforderlich, die standortspezifische Faktoren wie den Betrieb von Kühlsystemen und die Anfälligkeit der aufnehmenden Umgebung berücksichtigen. Auch würde eine Übertragung einer spezifischen nationalen Regelung der allgemeinen Anwendbarkeit eines horizontalen BVT-Ansatzes nicht gerecht werden.

Somit ist der Ersatz von Stoffen durch andere mit einem geringeren Potential für die Umweltbelastung eine der Optionen zur Verminderung der Umweltbelastung durch Kühlwasserabflüsse. Die Genehmigungsbehörden in den Niederlanden haben dieses Instrument des Ersatzes seit mehr als 20 Jahren in den Genehmigungsverfahren angewendet. Die Grundlage dieses Instruments ist ein Verfahren der Stoffzulassung in den Genehmigungen. Mittels eines mehr oder weniger administrativen Verfahrens müssen die Genehmigungsinhaber einen Antrag für die Verwendung und das Auswechseln von Kühlwasserzusätzen stellen. Für die Bewertung der Zusätze verwenden die Genehmigungsbehörden ein weithin anerkanntes Verfahren. Es wird erwartet, dass sich in naher Zukunft die Lieferanten von Chemikalien und die Industrie in die Richtung eines Systems der freiwilligen Selbstkontrolle bewegen werden. Die Revision des Systems erfolgt im Rahmen der Annahme einer allgemeinen Methodik zur Ermittlung der Wirkung von Stoffen und Zubereitungen auf Gewässer. Diese Bewertungsmethodologie beruht auf der europäischen Richtlinie über Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung (67/548/EWG, 99/45/EC).

Allgemein gesagt findet die Bewertung von Kühlwasserzusätzen in drei Schritten statt [Benschop (1998)]. Der erste Schritt ist die Bewertung der innewohnenden Eigenschaften der Stoffe. Die Stoffe werden bewertet auf der Grundlage ihrer ökotoxologischen Merkmale (Karzinogenität, akute aquatische Toxizität, biologische Abbaubarkeit, $\log P_{ow}$ und Biokonzentrationsfaktor). Um die Stoffe und Präparate bewerten zu können, ist es erforderlich, den Stoff oder die genaue Zusammensetzung der Zubereitung zu kennen. Internationale Industrieprogramme (Responsible Care, ICCA) Europäisches Recht (Biozid-Richtlinie) und die Entwicklung des Chemikalienmanagements auf EU-Ebene tragen dazu bei, dass diese Daten über die Eigenschaften von Stoffen immer mehr verfügbar werden.

Der erste Schritt liefert einen Hinweis auf das Gefahrenpotential des Zusatzes. Der Evaluierung und Bewertung der Gefährlichkeit der Stoffe und Zubereitungen dient ein Gefahrenerkennungstest. Es ist ein in den Niederlanden entwickelter Test ([tm070, Benschop, 1997] und [tm071, Niebeek, 1997]) der zu Teilen auf der Chemikalienrichtlinie (67/548/EWG) und der Zubereitungsrichtlinie (88/379/EWG) basiert. Der Test konzentriert sich auf die ökotoxikologischen Merkmale eines Stoffes. Dies umfasst Mutagenität, Karzinogenität, akute Toxizität, biologische Abbaubarkeit, $\log P_{ow}$ und den Biokonzentrationsfaktor. Dazu sind jedoch Daten erforderlich, die nicht immer ohne weiteres verfügbar sind, teils aus Gründen der Vertraulichkeit und teils, weil diese Daten noch nicht gesammelt wurden.

Das Auszuwerten von Zusätzen oder der maßstäbliche Vergleich mit Alternativen, die eine geringere Auswirkung auf die Umwelt haben, kann bei der Bewertung und Auswahl hilfreich sein. In Anlage VIII.1 wird ein Beispiel gegeben, wie auf der Ebene des Standorts eine Benchmark-Methode angewandt werden könnte, um ein erstes Anzeichen des Potentials der Auswirkung der vorgeschlagenen alternativen Zusätze zu erhalten. Dieses Benchmark ist ausgelegt für ein offenes rezirkulierendes Nasskühlsystem (offener Kühlturm). Es zielt darauf ab, eine "Standard"-PEC für eine vorläufige Bewertung der PEC im Fluss zu berechnen. Es ist ein vereinfachtes Modell und geht davon aus, dass es im Fluss zu keiner Verdünnung des Zusatzes kommt. Damit wird die Konzentration des Stoffes im aufnehmenden Wasserlauf überschätzt. Auch wird davon ausgegangen, dass die PEC unabhängig von der Größe der Anlage und von den Betriebsbedingungen ist, da das Modell der Einspeisungsrate der Chemikalie(n) basiert. Die Verfügbarkeit von Umweltqualitätsstandards (UQS) wie sie von der Wasserrahmenrichtlinie vorgesehen wird, ist wichtig.

Der zweite Schritt umfasst Optimierungsschritte, um die Verwendung der ausgewählten Zusätze durch alle Arten von betrieblichen Schritten (siehe nächster Abschnitt 3.4.6) zu vermindern. Im dritten Schritt wird dann der restliche Abfluss im Vergleich zu den entsprechenden Zielen der Wasserqualität oder der Umweltqualitätsstandards (UQS) ausgewertet. Falls diese Ziele nicht erreicht werden, können weitere Maßnahmen angezeigt sein. Wenn alternative Zusätze zur Verfügung stehen, kann durch den Ersatz der gefährlichen Zusätze durch weniger gefährliche Alternativen die Notwendigkeit vermieden werden, Maßnahmen zu ergreifen.

Der zusätzliche Wert dieses Verfahrens der Bewertung von Zusätzen im Hinblick auf die Regelung für Chemikalien auf der Grundlage der oben erwähnten EU-Richtlinien besteht aus:

1. der Fähigkeit, Zusätze mit der geringsten Umweltbelastung zu identifizieren und
2. der Fähigkeit, zu entscheiden, ob die Ziele für die lokale Wasserqualität erreicht werden.

Falls diese Bewertungsmethode (die allgemein für Stoffe und Verbindungen anwendbar ist) auf Biozide angewandt wird, führt der erste Schritt automatisch zu der Notwendigkeit, weitere Maßnahmen zu ergreifen. In der Praxis heißt dies, eine Studie für ein Optimierungsprogramm für die Verwendung und Dosierung von Bioziden durchzuführen. Der zweite Schritt, der mehr oder weniger parallel zu der Optimierungsstudie verläuft, umfasst die Auswertung der vorausgesagten Wirkungen auf das lokale aquatische Ökosystem.

Mit dieser Auswertung werden drei Kriterien geprüft und falls alle drei Kriterien erfüllt werden, sollten weitere Verminderungsmaßnahmen einschließlich der Aufbereitung des Abflusses und/oder des Austausches des Zusatzes vorgenommen werden. In den Niederlanden wird die vorhergesagte Konzentration eines Biozids gegen den Maximum Admissible Risk Level (MARL) = Maximal zulässiges Risiko-Niveau (MZRN) geprüft.

Weitere Maßnahmen sollten dann durchgeführt werden, falls

1. die Konzentration von Biozids im Abfluss höher als das MZRN ist, und falls
2. die zusätzliche Konzentration von Biozid im Oberflächengewässer in einer gewissen Entfernung von den Abflüssen das MZRN um mehr als X% übersteigt, und falls
3. die gesamte Konzentration von Biozid im Oberflächengewässer in einer gewissen Entfernung von den Abflüssen das MZRN übersteigt.

Das Bewertungsverfahren ist in Anlage VIII.2 näher beschrieben.

3.4.6 Optimierung der Verwendung von Kühlwasserzusätzen

Die Optimierung der Verwendung von Kühlwasserzusätzen bedeutet auch die Auswahl der angemessenen Dosierungsstrategie und Überwachung der Wirkungen des Wasserbehandlungsprogramms sowohl hinsichtlich der Emissionen in das Oberflächengewässer als auch hinsichtlich der Leistung des Kühlsystems in Form von Wärmeübertragung und Sicherheit. Es ist offensichtlich, dass beide Verfahren vernetzt sind, und dass die Überwachung eine Vorbedingung für die angemessene Dosierungsstrategie ist.

Die Auswahl einer Dosierungsstrategie sollte darauf abzielen, die erforderliche Konzentration zur rechten Zeit ohne eine Verminderung der Leistung des Kühlsystems zu erreichen. Eine Unterdosierung kann Korrosion oder Kesselstein und eine verminderte Leistung des Kühlsystems verursachen, die auch zu indirekten Wirkungen auf die Umwelt führen und eine Überdosierung kann zur Beschädigung der Oberflächen der Wärmetauscher, höheren Emissionen und höheren Behandlungskosten führen. Grafisch kann dies wie in Abbildung 3.4 dargestellt werden. In untauglich ausgelegten Systemen wird die erforderliche Mindestkonzentration von Bioziden nicht berücksichtigt, um das System gegen Bewuchs zu schützen, so dass es zu Bewuchs kommen kann. Gleichzeitig führt die Überdosierung zu solchen Konzentrationen, dass mehr als die maximal erforderliche Konzentration vorliegt. Unter diesen Bedingungen wird der überschüssige Zusatz an die Umgebung abgegeben.

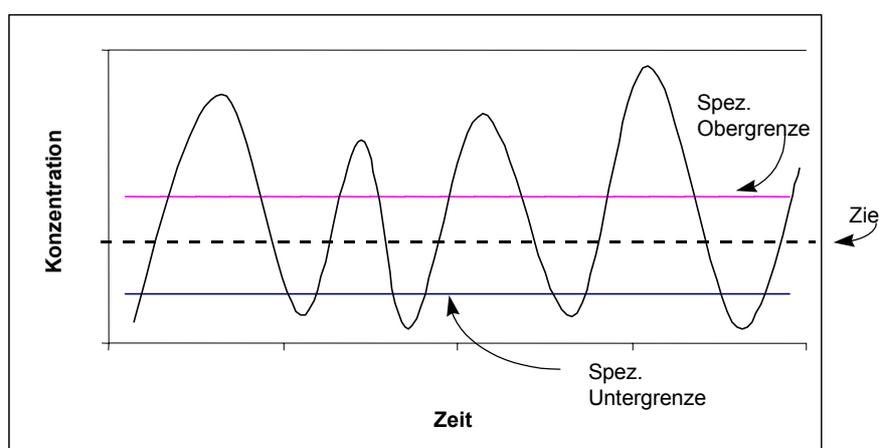


Abbildung 3.4: Zusatzkonzentrationsmodell als Folge von untauglich ausgelegten Überwachungs- und Dosierungsstrategien

Die gezielte Dosierung (Abbildung 3.5) auf der Grundlage der Kühlwasserqualität zielt auf die Aufrechterhaltung des minimal erforderlichen Konzentrationsniveaus ab, um konstanten Schutz zu bieten. Übermäßige Konzentrationen werden vermieden und damit der Abfluss in die Umgebung vermindert. Dies vermindert auch die Kosten für die Behandlungseinrichtungen. Tauglich ausgelegte Dosierungsstrategien vermindern die Menge der benötigten Zusätze und können als kostengünstige Maßnahme angesehen werden.

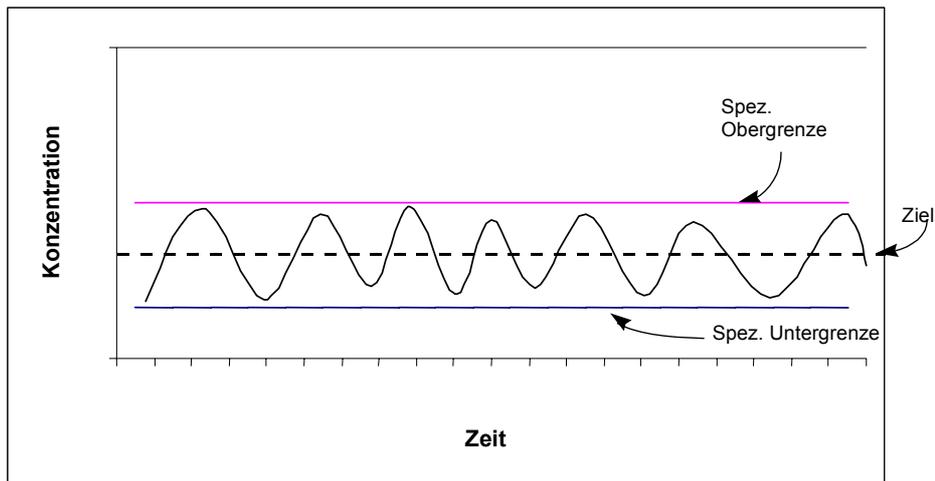


Abbildung 3.5: Zusatzkonzentrationsmodell als Folge von tauglich ausgelegten Überwachungs- und Dosierungsstrategien

3.4.6.1 Dosierung von Kühlwasserzusätzen

3.4.6.1.1 Dosierungsstrategien

([tm010, Betz, 1991], [tm005, Van Donk and Jenner, 1996], [tm157, Jenner et al, 1998])

Die Dosierung von Kühlwasserchemikalien wird auf folgende Art und Weise durchgeführt (siehe auch Anlagen V und XI):

- kontinuierlich
 - am Ende der Saison
 - regelmäßig während der Ablagerung
 - auf niedrigem Niveau während der Ablagerung
- diskontinuierlich (auch Schock, Charge genannt)
- halbkontinuierlich oder nach Impuls abwechselnd
- massive oder Schockdosierung, wobei eine große Menge Chemikalien auf einmal dem Kühlwasser zugeführt wird..

Die kontinuierliche Dosierung wird durchgeführt in Kühlsystemen, wo eine gewisser Konzentration von Zusätzen laufend aufrechterhalten werden muss. Den besseren Systemen werden sie in Übereinstimmung mit dem behandelten Volumen und den Anforderungen des Bedarfs an Chemikalien zugeführt. In Durchlaufsystemen wird dies noch immer hauptsächlich gegen Makro-Verschmutzung und Korrosion durchgeführt. Die Erfahrungen zeigen jedoch, dass eine verminderte Verwendung durch geänderte Dosierungspraktiken genau so wirksam sein kann.

Bei der diskontinuierlichen Dosierung wird die Chemikalie durch eine un stetig regelnde Steuerung an einer chemischen Einspeisepumpe oder durch Abfluss aus einem kalibrierten Gefäß oder einer Messkammer eingeführt. Die Chargendosierung wird angewandt in Kühlsystemen, Bio-Oxidationsbecken und an anderen Orten, wo das Volumen des Systems im Verhältnis zum Abfluten groß ist. In diesen Systemen füllt die Menge der Chemikalie das verlorengegangene oder verbrauchte Material wieder auf. Sie wird auch eingesetzt in Anwendungen, die nur eine regelmäßige Dosierung benötigen. So werden zum Beispiel antimikrobielle Chemikalien für Kühlwassersysteme in der Regel in diskontinuierlicher Form eingeführt. Die Chargendosierung kann sowohl in rezirkulierenden Systemen als auch Durchlaufsystemen angewandt werden. Sie kann nicht in einzelnen Durchlaufsystemen verwendet werden, wo eine konstante Chemikalienkonzentration erforderlich ist.

Die Dosierung kann auch gezielt für spezifische Teile des Kühlsystems eingesetzt werden wie zum Beispiel am Einlass zu den Wärmetauschern. Eine wichtige Praxis ist die zeitlich ausgerichtete Dosierung abgestimmt auf jahrezeitliche Merkmale des makrobiologischen Wachstums. Die Dosierung hängt auch vom Typ des Kühlsystems ab. In rezirkulierenden Systemen beeinflusst die Art des Systembetriebs das Timing und die Menge der Dosierung. In einem Durchlaufsystem ist der Punkt und die Zeit der Dosierung wichtig, um die höchste Wirkung zu erzielen, da die Kontaktzeit zwischen der Chemikalie und dem Kühlwasser kurz ist.

In kleinen Systemen wird die Dosierung manuell durchgeführt, aber in größeren Systemen ist gewöhnlich ein automatisches Gerät an das Überwachungssystem angeschlossen. Wie bereits erwähnt besteht eine Tendenz, die Kühlwasserbehandlung extern an spezialisierte Gesellschaften zu vergeben. Für große und komplexe Anlagen mit mehreren Kühlsystemen sind Mitarbeiter von Zulieferern ständig vor Ort, um diese Systeme zu betreiben. Bei kleineren Systemen wird die tägliche Kontrolle oft von Mitarbeitern des Standorts durchgeführt und unterstützt durch regelmäßige Kontrolle durch den Zulieferer.

Mit der Optimierung der Dosierung kann die Verminderung der Verwendung von Biozid erreicht werden. Die Art und Weise, in der Biozide dosiert werden, hängt ab von der Arbeitsweise und der Beständigkeit des Biozids, der Art und des jahreszeitlichen Musters der Verschmutzung (makro/mikro), dem Zustand des Bewuchses des Kühlsystems, der Wassertemperatur des Systems und dem Nährzustand des Kühlwassers. Biozide werden dosiert in gasförmigen, flüssigen oder festen Formen.

Die Dosierung kann kontinuierlich oder schockartig sein. In Teilen der Literatur wird empfohlen, dass in Durchlaufsystemen eine kontinuierliche Dosierung stattfinden sollte, um die Kontaktzeit der antimikrobiellen Stoffe auszudehnen, wenn man auf niedrigem Niveau dosiert. Bei rezirkulierenden Systemen ist die kontinuierliche Dosierung auch möglich, aber die diskontinuierliche Dosierung ist üblicher. Der Zweck der diskontinuierlichen Behandlung in diesen Systemen ist, eine hohe Konzentration von antimikrobiellen Stoffen zu erzeugen, die den Biofilm durchdringen und unterbrechen und schließlich auflösen wird. Im Vergleich zur kontinuierlichen Behandlung kann die diskontinuierliche Behandlung zu niedrigeren durchschnittlichen jährlichen Konzentrationen im Abfluss führen und kann auch dort kostengünstiger sein, wo geringere Gesamtmengen benötigt werden. Dies wurde jedoch bereits auch als Argument aufgeführt, als Betrachtungen angestellt wurden, dass die kontinuierliche Dosierung im Vergleich zur Schockdosierung eine Verminderung von 40 % FO ergeben könnte. Weitere Forschung in diese Richtung wird erforderlich werden, da in allgemeiner Form unter dem Gesichtspunkt eines Betreibers die kontinuierliche Dosierung leichter durchzuführen ist als die Schockdosierung oder die diskontinuierliche Dosierung. Dazu bedarf es eines Überwachungssystems, um über den richtigen Moment der Anwendung der Behandlung zu entscheiden. Die Optimierung der Dosierungsmethode muss gleichzeitig mit dem Erreichen eines geringen Auftretens von Ausfällen stattfinden.

In rezirkulierenden Systemen kann die Verwendung von Produkten, die aus synergistischen aktiven Mischungen zusammengesetzt sind, zu verringerten Behandlungskonzentrationen im Abflutwasser ebenso wie zu Kostensenkungen führen. Biozide mit verschiedenen Wirkungsbereichen können in der Kombination dosiert werden, um das Wirkungsspektrum zu erweitern. Ohne eine Steigerung der Menge der verwendeten antimikrobiellen Stoffe kann die Wirksamkeit einer Mischung die Wirkung übertreffen, die von der Wirkung eines einzelnen Zusatzes erwartet wird. Diese stark verbesserte Leistung oder Synergie wird nur von bestimmten Zusatzkombinationen erzielt werden. Die Zugabe muss nicht notwendigerweise gleichzeitig erfolgen, sondern kann mit ähnlichen Ergebnissen abwechselnd durchgeführt werden. Eine weitere Wirkung ist, dass sich für den Fall, dass mehr als ein mikrobieller Stoff verwendet wird, wahrscheinlich weniger Resistenz entwickelt. Dabei ist es unwahrscheinlich, dass die Mikroben gleichzeitig gegen beide (oder alle) Stoffe eine Resistenz entwickelt haben. Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Stoffen müssen berücksichtigt werden, um die Verminderung der Arbeitsweise eines jeden dosierten Biozids zu vermeiden und zu vermeiden, dass sich gefährliche Reaktionsprodukte im Kühlwasserabfluß entwickeln.

Das Ziel der biozidellen Behandlung kann verschiedener Art sein. In Abhängigkeit von den Zielorganismen und dem Ausmaß, in dem der Bewuchs fortgeschritten ist, sind die Behandlungen entweder vorbeugend oder heilend. Ein Biozid, das intensiv erforscht wurde, ist Natrium-Hypochlorit. Die Dosierung von Hypochlorit in ein Durchlaufsystem zeigt, dass das Kühlsystem als Rohrreaktor funktionieren wird, wobei viele komplexe Reaktionen zwischen dem Hypochlorit und der organischen Masse stattfinden. Als Ergebnis derartiger Reaktionen und für einen typischen Ort, der Kühlwasser aus Flussmündungen oder Küstengewässern verwendet, führt eine Hypochloritdosis am Einlass im Bereich von 1,5 - 3 mg Cl_2/l zu einer Dosis von 0,25 - 0,35 mg/l von TRO am Auslass des Wärmetauschers. Dies bezieht sich auf rund 4 - 8 Minuten Reaktionszeit. Um die Dosierung von Hypochlorit beträchtlich zu vermindern, wurde die Impuls-Chlorierung[®] angewandt (Anlagen XI.3.3.2.1 und X.3.3.2.1).

3.4.6.1.2 Dosierungssysteme

([tm010, Betz, 1991])

Auf dem Markt gibt es verschiedene Dosierungssysteme. Bei der Wahl eines Dosierungssystems sollte man zwischen flüssigen und trockenen Chemikalien unterscheiden. Für flüssige Chemikalien werden Pumpen wie Dosierpumpen, gepackte Plungerpumpen (Hochdruck) und Diaphragmapumpen verwendet. Für trockene Chemikalien werden Dosierungssysteme verwendet wie zum Beispiel Volumenzuführungen (um pulveriges Material zu verteilen), gravimetrische Zuführungen (Proportionierung der Chemikalien nach Gewicht) und auflösende Zuführungen (Dosierung in den Mischtank).

Ob und wie die verschiedenen angewandten Dosierungssysteme tatsächlich den Verbrauch von Zusätzen vermindern, wurde nicht berichtet. Es steht jedoch außer Zweifel, dass die ordnungsgemäße Wartung des Systems und die Kalibrierung die Genauigkeit der Dosierung verbessern. Die Menge, der Ort und die zeitliche Einteilung der Dosierung kann nur exakt kontrolliert werden, wenn man das Wasserkühlsystem ordnungsgemäß überwacht.

3.4.6.2 Kühlwasserüberwachung

Die Überwachung des Bedarfs an Chemikalien für die Behandlung von Kühlwasser ist entscheidend für die Verminderung der Verwendung von Zusätzen und der Emissionen in die Umgebung, im Allgemeinen das Oberflächengewässer. Sie kann als kostensparende Methode angesehen werden, wo die Behandlung von Abflusswasser, falls sie überhaupt möglich ist, in der Regel teurer ist.

Man kann einen Unterschied machen zwischen der Überwachung der Verwendung von Bioziden und der Überwachung von anderen Wasserbehandlungschemikalien (Kesselstein- und Korrosionsschutzmittel sowie Dispergiermitteln), weil im Fall der Makro-Verschmutzung die Überwachung des Verhaltens der im Kühlsystem auftretenden Biologie ein wichtiger zusätzlicher Faktor ist.

3.4.6.2.1 Überwachung von Kesselstein-, Korrosionsschutz- und Dispergiermitteln

([tm067, Hoots et al, 1993])

Die Anwendung von Chemikalien als Schutzmittel und die Optimierung ihrer Verwendung ist eine sehr komplexe Angelegenheit und spezifisch für jede Situation. In jedem Fall ist es ein Balanceakt zwischen einer Anzahl von Faktoren:

- Der Qualität des Kühlwassers und der Optionen für die vorhergehende Aufbereitung (enthärten, Filtrierung), die wiederum von der erforderlichen Durchflussmenge abhängig sind;
- der Notwendigkeit, den Wasserbedarf zu vermindern durch die Erhöhung der Anzahl der Zyklen gegenüber der Zunahme der Probleme mit Kesselstein aufgrund der erhöhten Konzentrationen;
- der Kühlwassertemperatur gegenüber der Löslichkeit von Salzen;
- der Wechselwirkung zwischen den Zusätzen.

Zur Kontrolle der Dosierung von Kühlwasser-Schutzmitteln in rezirkulierenden Kühlsystemen werden mehrere Methoden angewandt. Eine Übersicht erfolgt in [tm067, Hoots et al, 1993]. Die folgenden allgemeinen Verfahren werden bei der Anwendung in Kühlsystemen unterschieden:

- Manuelles Prüfen und Einstellen
- Ablassen und Zuführen (durch Abfluten aktivierte Zuführung)
- durch Wasserzähler gesteuerte Zyklen
- chemische Analysatoren (auf der Basis von Mikroprozessoren)
- Fluoreszenz.

Jede Methode hat offensichtlich Vor- und Nachteile. Das Prinzip des in Abbildung 3.5 gezeigten optimierten Musters wird möglicherweise nicht erreicht. Die verschiedenen Überwachungsverfahren unterscheiden sich in ihrem Potential für die Dosierung der richtigen Menge. Eine Veränderung in der Dosierung, die nicht mit Schwankungen im Bedarf des Kühlsystems verbunden ist, sollte jedoch soweit wie möglich vermieden werden. Sie kann zu einer Unter- oder Überdosierung von Chemikalien führen.

Eine Änderung in der Dosierung kann aus einer Reihe von Gründen auftreten:

- Der Betreiber ist möglicherweise nicht ausreichend involviert.
- Die Ausrüstung hat geringe Zuverlässigkeit.
- Indirekte Messung des Chemikalienspiegels.
- Messung der falschen Variablen.
- Der Zeitabstand zwischen der Analyse und der Nachjustierung ist zu groß.
- Die Reproduzierbarkeit der Analysemethode kann niedrig sein.
- Änderungen an der Kühllast und der Qualität des Zusatzwassers werden nicht genau verfolgt.

Von der Erfahrung her ist es offensichtlich, dass die genauesten Überwachungs- und Dosierungssysteme die Chemikalienkonzentrationen im Kühlwasser direkt messen und über eine verringerte Zeit zwischen der Analyse und der Einstellung der Dosierung verfügen. Überwachungssysteme sollten in der Lage sein, die Änderungen in der Kühllast und die Änderungen in der Kühlwasserqualität zu verfolgen (Anlage XI).

3.4.6.2.2 Überwachung des Bewuchses

([tm005, Van Donk and Jenner, 1996] und ([tm087, Engstrom and Tully, 1994])

Die Überwachung des Bewuchses geschieht auf der Grundlage der Überwachung der mikrobiologischen Aktivität im Kühlsystem ebenso wie auf dem Niveau der tatsächlichen Behandlung mit Mikrobiozid. Der Schlüssel zum Messen der Wirksamkeit jedes Biozidprogramms ist die Fähigkeit, die mikrobiologische Aktivität im Kühlsystem schnell und genau zu messen.

Um eine gute Dosierungsmethode zu erreichen, wurde die folgende Strategie für Durchlaufsysteme vorgeschlagen:

- Eine Problemanalyse des Zielorganismus/der Zielorganismen machen;
- jahreszeitliche Unterschied im Auftreten (z.B. Fortpflanzungszeit von Muscheln) charakterisieren;
- Wassertemperatur und -qualität (Süß-/Salzwasser) berücksichtigen;
- ein Dosierungsprogramm auswählen (z.B. lokal per Abschnitt: kontinuierlich oder diskontinuierlich);
- sich für Dosierungseinheiten entscheiden, die den Verbrauch vermindern, besonders wenn sie mit einem Überwachungssystem verbunden sind;
- sich für das Überwachungsprogramm entscheiden (Muschelentdeckungstank (Bestimmung der Fortpflanzungsperiode) oder Muschel-/Austermonitor (Entdeckung der Konzentration)).

Eine ähnliche Strategie könnte auf offene rezirkulierende Nass-Systeme zutreffen. Das Dosierungsprogramm für die in Kühltürmen verwendeten Zusätze deckt auch Schutzmittel-Chemikalien ab, was die Komplexität der Behandlung weiter steigert. Ein zusätzlicher Faktor ist die Auswirkung des Betriebs mit einer erhöhten Anzahl von Konzentrationszyklen, was einerseits Wasser spart, aber andererseits die Möglichkeiten für Kesselstein und Korrosion und den Bedarf an spezifischen Zusätzen erhöht. In dieser Situation können weniger korrosionsempfindliche Materialien in der Auslegungsphase von neuen Anlagen die offensichtliche Wahl sein. Sie könnten den Bedarf an Schutzmitteln (siehe 3.4.3.2) vermindern und den Betrieb ohne die Beigabe komplexer Mittel ermöglichen, was gleichzeitig Kosten spart.

Sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Kühlsystemen ist es wichtig, die Ursache des Bewuchses (z.B. Leckage) festzustellen und zuerst die Organismen zu definieren, ehe man weitere Entscheidungen über das erforderliche Biozid trifft.

Für Durchlaufsysteme ist die Makro-Verschmutzung von großer Bedeutung. Eine Voraussetzung für die Biozid-Behandlung ist die Überwachung der Makro-Verschmutzung. Dies ist wesentlich für die Festlegung der erforderlichen minimalen Biozid-Dosierung und für die Biozid-Optimierung, da sie Informationen liefert über die Ablagerung und das Wachstum der Organismen der Makro-Verschmutzung und über die Leistung des Programms für die Bewuchskontrolle.

Eine noch gezieltere Dosierungsmethode ist die alternierende Impuls-Chlorierung[®], die die Veränderung der Verweilzeiten in verschiedenen Teilen des Prozesses berücksichtigt. Zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Punkten werden die erforderlichen Chlorkonzentrationen dosiert und folgen dabei den Strömungsmodellen des Kühlwasserstroms in den verschiedenen Stufen des Prozesses. Am Ende des Prozesses und vor dem

Abfluss des Kühlwassers kommt es zur Strömungsverdünnung durch die Vermischung der verschiedenen Prozess-Ströme. Wo nur einer der Ströme chloriniert ist und der andere nicht, kann das TRO weiter vermindert werden und Emissionskonzentrationen von $<0,1$ mg/l sind erreichbar (siehe Anlage XI).

Bei offenen rezirkulierenden Systemen ist die Mikro-Verschmutzung viel wichtiger als die Makro-Verschmutzung. Da die Wassermenge, die gewöhnlich für den Zusatz verwendet wird, viel kleiner ist, kann sowohl die vorhergehende Aufbereitung des Wassers als die Seitenstromfiltrierung eines Teils des zirkulierenden Wassers das Mitführen von Mikro-Organismen verhüten. Im Fall der Schockdosierung von Bioziden haben die rezirkulierenden Systeme den Vorteil, dass das System vorübergehend geschlossen werden kann und es den Bioziden ermöglicht, wirksam zu werden und damit die Konzentration vor dem Abfluten zu senken. Auch bei rezirkulierenden Systemen ist die Überwachung des Bewuchskontrollprogramms eine Voraussetzung für die Optimierung der Verwendung von Bioziden.

3.5 Verwendung von Luft zur Kühlung und Emissionen an die Luft

3.5.1 Luftbedarf

Die Verwendung von Luft als Ressource hat keine direkten Implikationen auf die Umwelt und wird nicht als realer Verbrauch angesehen. Die Luft wird in allen außer den Durchlauf-Kühlsystemen verwendet. In mechanischen Kühltürmen steht der Luftdurchsatz in Zusammenhang mit der für den Ventilatorbetrieb erforderlichen Energie.

Tabelle 3.9: Durchschnittlich erforderlicher Luftdurchsatz für verschiedene Kühlsysteme [tm134, Eurovent, 1998]

Kühlsystem	Luftdurchsatz (%)
Durchlaufdurchsatz	0
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf	25
Hybrid-Kühlung mit zeitweise offenem Kühlkreislauf	38
Nasskühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf (separate Wasserzuführung)	38
Hybridkühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf (separate Wasserzuführung)	60
Trockenkühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf	100

Je höher der Bedarf an Luft ist, umso höher ist die Ventilatorkapazität und folglich die Höhe des Energieverbrauchs. In der Tabelle 3.9 werden die für die verschiedenen Kühlsysteme erforderlichen Luftdurchsätze verglichen. Der Luftdurchsatz steht in hohem Maß im Zusammenhang mit dem Verhältnis zwischen der freien und der latenten Wärmeübertragung (Anlage I). Trockenkühlung benötigt mehr Luft als Nasskühlung.

In einigen spezifischen Gebieten (z.B. dicht besiedelten Industriegebieten) könnte die Luftqualität zu einem Thema werden und über ihre Zusammensetzung zur Korrosion der (mit Rippen versehenen) Rohre oder Spulen oder zum Bewuchs der Oberfläche führen, was sich in beiden Fällen negativ auf den Wärmetausch auswirkt. Die Vorreinigung von Kühlluftsystemen erscheint unrealistisch und es wurden keine Informationen darüber berichtet. Folglich kann die Säuberung der Oberfläche der Wärmetauscher und/oder die Behandlung des Kühlwassers notwendig sein; dies hängt von der Chemie der Luft ab.

Andererseits funktionieren offene Nasskühltürme manchmal als Luftreiniger und waschen verschiedene Schadstoffe aus der Luft. Dies kann sich potentiell auf die Kühlwasserbehandlung und den Betrieb des Kühlsystems auswirken, aber es wurden keine Daten berichtet.

3.5.2 Direkte und indirekte Emissionen

Emissionen in die Luft aufgrund des Betriebs von industriellen Kühlsystemen können direkter oder indirekter Art sein. Zu indirekten Emissionen kommt es auf der Ebene des Produktionsprozesses wegen unzulänglicher Kühlung. Sie entstehen aufgrund der Tatsache, dass die unzulängliche Kühlung eine höhere Eingabe von Ressourcen (z.B. Energie) erfordert, um Produktions- oder Leistungsverluste auszugleichen.

Die Bedeutung von direkten Luftemissionen aus Nasskühltürmen ist besonders relevant in der unmittelbaren Nachbarschaft von städtischen Ansiedlungen. Im Vergleich mit den zu kühlenden Luftemissionen des industriellen Prozesses werden sie als relativ gering angesehen. Die Probleme, die während des Betriebs auftreten können, sind:

1. Tröpfchen können Wasserbehandlungskemikalien enthalten;
2. im Fall von unzulänglicher Behandlung mit Biozid und Kühlturmwartung können sich Bakterien (Legionärskrankheit) entwickeln (3.7.3).

Offene und geschlossene rezirkulierende Nass- und Hybrid-Kühltürme können wegen des Tropfenauswurfs und der Dampfbildung einige Emissionen zeigen. Diese verursachen einen gewissen Verlust an Wasserbehandlungskemikalien und besonders an Bioziden. Es ist bekannt, dass die Verflüchtigung, auch

Abdunsten genannt, von Chemikalien mit der Temperatur zunimmt, aber der Mechanismus, der zu Emissionen führt, ist komplex und es sind viele Faktoren daran beteiligt. Deshalb ist die Quantifizierung schwierig und es wurden keine Emissionsdaten berichtet.

Tropfenabscheider werden als wichtige Verminderungsmaßnahme angesehen. Alle Nasskühltürme sind heutzutage mit Tropfenabscheidern ausgerüstet, aber noch immer kann ein kleiner Prozentsatz des zirkulierten Wasserstroms als Wassertröpfchen ausgeschieden werden. Diese Tröpfchen, die aufgelöste Feststoffe und chemische Zusätze enthalten, fallen aus dem Fallwind des Abluftstroms des Kühlturms heraus und können Verfärbungen oder Kesselsteinablagerungen auf den Oberflächen von Gebäuden verursachen [tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994]. Es sind einige spezielle Fälle bekannt, in denen über Chromemissionen berichtet wurde, aber die meisten Mitgliedstaaten haben aus Umwelts- und Gesundheitsgründen die Verwendung von Chrom verboten; es wird auch berichtet, dass es zu technischen Problemen führt.

Die Qualität und die Menge der direkten Luftemissionen aus Kühltürmen ist in jeder Situation spezifisch und hängt ab von den Zusätzen, die für die Kühlwasserbehandlung verwendet wurden, deren Konzentration im zirkulierenden Wasser und der Wirksamkeit der Tropfenabscheider. Die heute in Nasskühltürmen verwendeten normalen Tropfenseparator ermöglichen es, den Wasserverlust durch den Tropfenauswurf auf 0,01 % oder noch weniger des gesamten Durchsatzes zu begrenzen. Es wurde ein Versuch unternommen, die Kühlturmmissionen mit Hilfe eines vereinfachten Modells [tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994] einzuschätzen. Aus den erhaltenen Daten wurde geschlossen, dass die Emissionskonzentrationen niedrig ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), aber nicht zu vernachlässigen sind, und dass die Auslegung und die Positionierung des Kühlturmabzugs wichtig sind, um Einströmungsöffnungen von Klimaanlageanlagen oder andern Kühleinrichtungen zu vermeiden.

Gegenwärtig existiert keine standardisierte Methode zur Berechnung von Sprühverlusten (und Umweltverschmutzung) für bestimmte Kühlturmkonfigurationen. Es gibt zwei Testmethoden zur Überprüfung von Sprühverlusten bei bestimmten Konfigurationen (nicht veröffentlicht):

- die isokinetische Methode (IK-Methode)
- sensibilisierte Sprühverlust-Messung an Oberflächen (SS-Methode).

Beide Methoden haben ihre Vor- und Nachteile. Die Vorteile der IK-Methode sind:

1. Hohe Wirksamkeit beim Sammeln aller Tröpfchengrößen,
2. Analyse von spezifischen Elementen ist möglich,
3. liefert integrierte Proben über dem Ausstoßbereich.

Die Nachteile der IK-Methode sind:

1. In der Luft schwebende Elemente können die Ergebnisse beeinflussen,
2. Lange Probeentnahmezeiten für hochwirksame Tropfenabscheider oder niedrige Mineralkonzentrationen erforderlich.

Es gibt einen Testcode, der beschreibt, wie der IK-Test durchzuführen ist (CTI-140).

Die SS-Methode hat folgende Vorteile:

1. Liefert Tröpfchengrößenmerkmale von mehr als 30 μm ,
2. wird von in der Luft schwebenden Elementen nicht beeinflusst,
3. liefert eine relative Anzeige der Wirksamkeit der Tropfenabscheider.

Die Nachteile der SS-Methode sind:

1. Schwache Wirksamkeit beim Sammeln von kleinen Tröpfchen von weniger als 30 μm ,
2. kann nicht zwischen Kondensation und Tropfenauswurf unterscheiden,
3. keine Tröpfchenanalyse für spezifische Bestandteile.

Es wurde über zufällige Emissionen von Asbestpartikeln bei der Außerbetriebsetzung von alten Kühltürmen berichtet, bei denen Asbestzement verwendet wurde, wobei es spezialisierter Maßnahmen bedurfte, um sie aufzuhalten. Ein Bericht über die Verminderung der Emissionen von Asbestpartikeln während der Außerbetriebsetzung konzentrierte sich auf den Schutz gegen die direkte Inhalation [tm082, Mittendorf, 1990]. Da die Verwendung von Asbest und ähnlichen Materialien in der EU verboten wurde, wird kein Asbest in neuen

oder kürzlich gebauten Kühltürmen verwendet. Asbest kann noch immer in Kühltürmen vorkommen, die rund 20 Jahre oder älter sind.

Über Maßnahmen zur Verringerung der Luftemissionen aus Kühltürmen wurde nichts berichtet und Emissionsminderungsmaßnahmen scheinen nicht anwendbar zu sein. Im Licht des Ursprungs der potentiellen Kontamination und der Art und Weise, in der sie transportiert wird, kam man zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Die Verminderung von Luftemissionen aus Kühltürmen steht in positiver Beziehung zu den integrierten Maßnahmen zur Verminderung der Wasseraufnahme, besonders mit der Anwendung von Tropfenabscheidern.
- die Verminderung von Luftemissionen steht in positiver Beziehung zur Verminderung der erforderlichen Kühlwasserbehandlung und
- die Verminderung von Luftemissionen aus Kühltürmen steht in positiver Beziehung zur Optimierung der Kühlwasserbehandlung (Optimierung des Systembetriebs).

3.5.3 Kühlturmfahnen

3.5.3.1 Bildung von Kühlturmfahnen

Die Bildung von Kühlturmfahnen kann in offenen und geschlossenen Nasskühltürmen wichtig sein, wenn Luft mit einem hohen Feuchtigkeitsgehalt den Kühlturm verlässt, sich mit der Atmosphäre vermischt und abzukühlen beginnt. Während dieses Vorgangs wird ein Teil des überschüssigen Wasserdampfs, der absorbiert wurde, wieder hinaus kondensiert. Obwohl dies fast zu 100 % Wasserdampf ist, kann die störende Wirkung auf den Horizont im Fall von großen Türmen (Energiewirtschaft, chemische Industrie) beträchtlich sein. Die Form und der Umfang der sichtbaren Kühlturmfahne werden beeinflusst von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte der Atmosphäre und auch vom Wind. Je kälter und feuchter die Atmosphäre ist, umso stabiler und anhaltender wird die Kühlturmfahne sein. Man kann dies deshalb als ein potentielles Problem der gemäßigteren oder kälteren Regionen Europas ansehen und dies hauptsächlich in der Winterzeit. Die extreme Bildung von Kühlturmfahnen aus großen Anlagen (Kraftwerke) kann im Fall von niedrigeren Türmen (40 – 50 m) auch zu Bodennebel führen. Es wird auch berichtet, dass sich während extremer Wetterbedingungen als Folge der Bildung großer Kühlturmfahnen mit folgendem Niederschlag Eis auf Straßen bilden kann.

3.5.3.2 Verminderung von Kühlturmfahnen

[tm101, BDAG, 1996], [tm123, Alt and Mäule, 1987]

Die Verminderung von Kühlturmfahnen ist eine technologisch integrierte Maßnahme, die die Konfiguration des Kühlsystems ändert. Die Bildung von Kühlturmfahnen kann verhindert werden, indem man die nasse Abluft durch die Vermischung mit etwas warmer trockener Luft trocknet, ehe sie abgelassen wird. Offene Hybrid-Kühltürme und Hybrid-Kühltürme mit geschlossenem Kühlkreislauf (oder Rückkühler) sind besonders dafür ausgelegt, die Bildung von Kühlturmfahnen zu verhindern (siehe Abschnitt 2.6)

In Abhängigkeit von den Klimabedingungen und den Anforderungen des Prozesses kann der Turm trocken betrieben werden. Man behauptet, unter nordeuropäischen Klimabedingungen benötige er nur 20 % der gesamten Wärmelast, die in den trockenen Abschnitt zu übertragen ist, damit der Kühlturm unter so gut wie allen Wetterbedingungen ohne eine sichtbare Kühlturmfahne arbeitet. Unter gewissen Bedingungen, wie zum Beispiel einer sehr niedrigen Außenlufttemperatur und einer niedrigen thermischen Belastung kann der Turm auch im völlig trockenen Modus betrieben werden. Die Regelungen unterscheiden manchmal zwischen Tag- und Nachtbetrieb und lassen die Nasskühlung (mit einer Kühlturmfahne) in der Nacht zu, während am Tag der Turm im Hybrid-Modus betrieben werden muss, was die Bildung von Kühlturmfahnen verhindert. (Siehe auch Kapitel 2).

3.6 Schallemissionen

3.6.1 Schallquellen und Schallpegel

Schallemissionen sind auf lokaler Ebene wichtig. Schallemissionen aus einem industriellen Komplex sind das Ergebnis einer Reihe von schallerzeugenden Quellen und in der Praxis der Ausstellung von Genehmigungen werden Geräusche aus Kühlsystemen als integraler Teil des gesamten Standorts angesehen. Folglich sollten Geräusche aus Kühlsystemen und die Investition für potentielle Dämpfungsmaßnahmen innerhalb der gesamten Schallemissionen eines Standorts bewertet werden. Schallemissionen sind im Allgemeinen ein Thema sowohl bei den mechanischen Luftauftrieb-Kühltürmen als auch den großen Naturzug-Nasskühltürmen. Für Informationen über die Merkmale und Berechnungen von Schallemissionen von Geräuschquellen in Kühltürmen kann Bezug genommen werden auf die VDI-Richtlinie 3734 und auf Normen, die in den deutschen VGB-Richtlinien für Kühlsysteme von Kraftwerken entwickelt wurden [tm158, VGB, 1998].

Es können drei hauptsächliche, von diesen Kühlsystemen verursachte Geräuschquellen identifiziert werden:

- Ventilatorbaugruppen (Ventilator, Getriebe, Antrieb) – alle mechanischen Kühltürme;
- Pumpen – alle Systeme mit Kühlwasser;
- auf das Kühlwasserbecken fallende Tröpfchen / herabstürzende Wassermassen – nur Nasskühltürme.

Die Ausstrahlung kann direkt oder indirekt erfolgen. Der Schall wird direkt ausgestrahlt durch:

- Lufteinlasspunkte
- Luftableitungspunkte

Der Schall wird indirekt ausgestrahlt durch:

- Ventilatormotoren
- Schutzhauben der Ventilatorableitungen und Kühlturmverkleidungen (bei Betonkonstruktionen gibt es keinen signifikanten Beitrag).

Der Schall von trockenen luftgekühlten Türmen wird überwiegend beeinflusst von der eingesetzten mechanischen Ausrüstung und ihrer Betriebsart. In Fällen, in denen die Dämpfung zu einem sehr niedrigen Schall-Leistungspegel der Ausrüstung geführt hat, kann das Geräusch von Wärmetauschern oder Kondensatorröhren und –leitungen dominierend werden.

In Nasskühltürmen ist das Geräusch das Ergebnis von fallenden Wassertröpfchen (Naturzug) oder sowohl der fallenden Tröpfchen als auch der mechanischen Ausrüstung. Im Allgemeinen ist das ungedämpfte Geräusch der Ventilatoren im Vergleich zum Geräusch der Wassertröpfchen dominant. Es wird berichtet, dies sei unabhängig von der Größe des Nasskühlturms. Wenn luftbedingte Geräusche durch Dämpfungsmaßnahmen vermindert werden, können wasserbedingte Geräusche dominant werden und die Dämpfung der Wassergeräusche kann in Betracht gezogen werden.

Über mittelgroße und große Kühltürme, die in Kraftwerken und großen Industrieanlagen betrieben werden wurde Folgendes berichtet. Bei Naturzug-Kühltürmen sind der Wasserdurchsatz und die Turmhöhe die wichtigsten Faktoren, die auf die ungedämpften Schallleistungspegel einwirken. Die Fallhöhe der Tröpfchen ist bis zu 5 m von Bedeutung, aber bei größeren Fallhöhen wurde kein weiterer Einfluss auf das Gesamtgeräusch berichtet. Der Schall-Leistungspegel am Einlass kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 68 + 10 * (\log M/M_0) \pm 2 \quad M_0 = 1 \text{ metrische Tonne/h}$$

Der Schall-Leistungspegel am Luftaustritt von Naturzug-Kühltürmen kann ungefähr mit der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 71 + 10 * (\log M/M_0) - 0.15 * (H/H_0) \pm 5$$

$M_0 = 1$ metrische Tonne/h (M = Gewichtsverhältnis des Wasserdurchsatzes)
 $H_0 = 1$ m (H = Höhe des Kühlturms)

Bei mit Ventilatoren betriebenen Nasskühltürmen ist das Spektrum des Wassergeräusches am Einlass nicht viel anders. Bei saugbelüfteten Kühltürmen (Ventilator in der Spitze des Kühlturms) kann der Beitrag des Wassergeräusches im Luftaustritt (Diffusor) zum gesamten Schall-Leistungspegel mit Hilfe der folgenden Gleichung ungefähr berechnet werden:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 72 + 10 * (\log M/M_0) \pm 3 \quad M_0 = 1 \text{ metrische Tonne/h}$$

Der relevanteste Faktor bei mechanischen Kühltürmen ist die verwendete mechanische Ausrüstung (Ventilatoren, Getriebe, etc.). Die Umfangsgeschwindigkeit der Ventilatoren (25 – 60 m/s) hat einen großen Einfluss auf den gesamten Geräuschpegel. Die Art des verwendeten Ventilators (radial oder axial), ebenso wie die Anzahl und die Art der Blätter sind auch von Bedeutung. Es wurde berichtet, dass die Verwendung von Getrieben einen negativen Einfluss auf den Geräuschpegel (bei gleichem Wasserdurchsatz und Umfangsgeschwindigkeit) haben kann, falls die Ventilatorgeschwindigkeit vermindert wird (z.B. Nachtbetrieb), wenn sie dominanter werden.

Der Schall-Leistungspegel eines Ventilators kann mit Hilfe der folgenden Gleichung ungefähr berechnet werden:

$$L_w \text{ (dB(A))} = 16 + 10 * (\log V/V_0) + 20 * (\Delta p/\Delta p_0) \pm 5$$

($V_0 = 1 \text{ m}^3 \text{ of air/h}$; $\Delta p_0 = 1 \text{ hPa}$)

Diese allgemeine Gleichung kann sowohl für druckbelüftete als auch saugbelüftete Ventilatoren verwendet werden. Bei druckbelüfteten Kühltürmen ist der Beitrag der Ventilatoren zum Schall-Leistungspegel am Luftaustritt von mittelgroßen bis großen Kühltürmen im Allgemeinen geringer als der Beitrag eines Ventilators eines saugbelüfteten Kühlturms mit den Ventilatoren an der Spitze. Die Differenz kann bis zu 5 dB(A) betragen.

Die folgende Gleichung wurde verwendet, um zu zeigen, wie sich der Schall-Leistungspegel von axialen Ventilatoren zu der Umfangsgeschwindigkeit des Ventilators verhält:

$$L_w \text{ (dB(A))} = C + 30 \log U_{\text{tip}} + 10 \log (Q \cdot P) - 5 \log D_{\text{fan}}$$

(C = charakteristischer Formwert des Ventilators, U_{tip} = Umfangsgeschwindigkeit des Ventilators, Q = Ventilatorströmung, P = Druckverlust des Ventilators, D_{fan} = Durchmesser des Ventilators).

Die Schallemissionen hängen auch von der Konstruktion des Kühlturms ab. Der Schall aus Betontürmen wird gänzlich durch den Lufteinlass und -auslass emittiert. Bei aus leichterem Material hergestellten Kühltürmen muss die Emission aus dem Gehäuse ebenfalls berücksichtigt werden.

Außerdem hat die Gegenstrom- oder Querstromauslegung ebenfalls eine Auswirkung auf die Schallemission von Nasskühltürmen, wo man berichtet, dass der Gegenstrom mit mehr Spritzgeräusch verbunden ist als Querstromkonstruktionen.

Schallemissionen können durch die verschiedenen Frequenzen charakterisiert werden, aus denen sie bestehen, und es kann ein Unterschied gemacht werden zwischen Naturzug-Nasskühltürmen und mechanischen Kühltürmen. Fallendes Wasser in Naturzug-Kühltürmen verfügt über ein breites Frequenzband, während das Geräusch von Ventilatoren der mechanischen Kühltürme überwiegend aus niedrigen Frequenzen besteht. Dies kann unter anderem die Faktoren erklären, warum das Wassergeräusch typischerweise unter Nahfeldbedingungen um die Einrichtung vorherrscht, während das Geräusch der Ventilatoren stufenlos mit der steigenden Entfernung von einem mit Ventilator betriebenen Kühlturm vorherrschend wird.

Die Schall-Leistungspegel verschiedener Kühltürme zeigen große Unterschiede und jede einzelne Quelle trägt zur Gesamtemission bei. Dies wird illustriert durch die Beispiele in Tabelle 3.11 für Kraftwerke [tm158, VGB, 1998] und in Tabelle 3.10, die Werte für die verschiedenen Kühlsysteme zeigen, die in einer Raffinerie verwendet werden [tm001, Bloemkolk, 1997].

Die Geräuschpegel von fallendem Wasser in Nasskühltürmen sind abhängig von der Fallhöhe des Wassers. Niedrigere Fallhöhen in saugbelüfteten Kühltürmen führen zu um rund 1 dB(A) niedrigeren Schall-Leistungspegeln am Lufteinlass und bei einem sogenannten Zellenkühlturm mit Saugzug ist er um 3 dB(A) niedriger.

Tabelle 3.10: Beispiele von Kapazität und zugehörigen unverminderten Schall-Leistungspegeln der Kühlturmsausrüstung einer großen Raffinerie [tm001, Bloemkolk, 1997]

Ausrüstung	Leistung ¹	L _w in dB(A)
Kompressoren	490/ 2000 kW	108/ 119
Pumpen	25/ 100/ 1300 kW	94/ 98/ 108
Dampfturbinen	1000/ 2000 kW	106/ 108
Luftkühler	7 /20 / 60 kW	89/ 93/ 98
Luftkühler /Kondensator	170 kW	102
Luftkühler / Kondensator	2,7 MW _{th}	97
Luftkühler	14,7 MW _{th} / 18,8 kW _e	105
Luftkühler	1,5 MW _{th} / 7,5 kW _e	90
Kühltürme	300 MW _{th}	106
Kühlturm	2000 m ³ /h	105
Hinweise:		
1. Hinweis auf die Leistung des rotierenden Teils, Motor, etc., d.h. nicht Kühlleistung		

Tabelle 3.11: Vergleich der unverminderten Schall-Leistungspegel am Lufteintritt und Luftaustritt gemessen an verschiedenen Typen von Nasskühltürmen herkömmlicher Bauart [tm158, VGB, 1998]

Nasskühlturm Bauart	Am Lufteintritt in dB(A)	Am Luftaustritt (Diffusoröffnung) in dB(A)
Naturzug	84 ± 3	69 ± 3
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf	86 ± 3	80 ± 3
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf (Zelltyp, druckbelüftet)	88 ± 3	85 ± 3
Nasskühlturm mit offenem Kühlkreislauf (Zelltyp, saugbelüftet)	85 ± 3	88 ± 3

Für den Vergleich der gesamten Schall-Leistungspegel der verschiedenen Arten von Kühlturmsystemen dokumentiert die Tabelle 3.12 die gesamten Schallpegel von verschiedenen Arten von Kühlturmsystemen ohne Geräuschminderung. Aus den oben aufgeführten Abweichungen in den Pegeln kann geschlossen werden, dass die Spannen weitgehend von der verwendeten Auslegung und Ausrüstung abhängig sind.

Tabelle 3.12: Schallemissionen von verschiedenen Kühlturmsystemen ohne Geräuschminderung [tm134, Eurovent, 1998]

Kühlturmsystem	Schallemission dB(A)
Durchfluss	
Kühlturm - Naturzug	90-100
Kühlturm - Ventilator Kühlung	80-120
Kühlturm mit geschlossenem Kühlkreislauf	80-120
Hybridkühlung	80-120
Trockenkühlturm	90-130

3.6.2 Lärmbekämpfung

([tm158, VGB, 1998], [tm061, Eurovent/Cecomaf, 1997], [tm086, Van der Spek, 1993], [tm093, Mirsky, 1995])

Die Lärmbekämpfung sollte sich in erster Linie konzentrieren auf die sogenannten primären oder "internen" Maßnahmen, ehe man sekundäre oder "externe" Maßnahmen in Betracht zieht wie zum Beispiel Dämpfer oder große Barrieren. Verschiedene Richtlinien zur Lärmbekämpfung an Kühltürmen unterscheiden zwischen dem von herabstürzendem Wasser verursachten Lärm und dem Lärm der mechanischen Ausrüstung. Im Allgemeinen sind Naturzugkühltürme weniger laut (unvermindert), aber bei Ventilatorkühltürmen ist die Schallminderung wirkungsvoller. Offensichtlich kann die ordnungsgemäße Wartung der lärm erzeugenden Ausrüstung im Lauf der Zeit die Emission ebenfalls niedrig halten. In den meisten Fällen können nur Ventilatorkühltürme den Anforderungen im Bezug auf Lärm entsprechen, weil nur die Ventilator Kühlung in wirtschaftlicher Weise den zusätzlichen luftseitigen Druckabfall überwinden kann. Die Wahl weniger lauter Radialventilatoren führt oft zu einem höheren Energieverbrauch und verursacht höhere Betriebskosten als bei Axialventilatoren.

Der allgemeine Ansatz besteht darin, die Primärmaßnahmen zuerst anzuwenden, um die Schallemission zu optimieren. Falls eine weitere Schallverminderung erforderlich ist, kann zusätzliche Dämpfung in Betracht gezogen werden. Die Schalldämpfung sollte so durchgeführt werden, dass man die Auswirkungen der Bekämpfungsmaßnahmen berücksichtigt, wie zum Beispiel Druckabfall (mehr Energie erforderlich), und dass andere Quellen dominanter werden. Der Beitrag einzelner Ausrüstungsteile zum Schallleistungspegel muss als Teil des gesamten Lärmusters gesehen werden. Das heißt, dass nahe gelegene Gebäude, Auflösung von Nebel und Nachhall unter vielen anderen Faktoren ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Um die Emissionen von verschiedenen potentiellen Lärmquellen in Kühlsystemen zu vermindern, zeigen die oben aufgeführten Gleichungen deutlich, auf welche Themen sich die Verminderungsmaßnahmen konzentrieren sollten, wie zum Beispiel Fallhöhe und Umfangsgeschwindigkeit des Ventilators.

3.6.2.1 Bekämpfung von durch herabstürzendes Wasser verursachtem Lärm (Nasskühltürme)

Bei Naturzugkühltürmen konzentriert sich die Geräuschkämpfung auf den Lufteinlass, da der Luftauslass nur unbedeutend zu dem Gesamtschallpegel beiträgt; er ist mindestens um 5 dB niedriger. Der im Becken durch fallendes Wasser erzeugte Schall wird bereits im gewissen Umfang vermindert durch die Wärmestrahlung im Turm, den Kühleinbau im Turm und die Kühlturmfahne (10-15 dB). Weitere Dämpfung kann die Emission vom Lufteinlass um weitere 5-8 dB vermindern. Die folgenden Maßnahmen werden vorgeschlagen und könnten auch bei mittelgroßen bis großen Ventilatorkühltürmen angewandt werden.

3.6.2.1.1 Primärmaßnahmen

Die folgenden Verfahren wurden als Primärmaßnahmen ermittelt:

- Absenken der Wasseroberfläche durch schnelleres Entleeren des Beckens würde die Beckenwände als Lärmbarrieren nutzen.
- Die Verminderung der Fallhöhe des Wassers ist möglich durch die Minimierung des Durchflussquerschnitts des Lufteinlasses, was begrenzt ist.
- Die Verhütung der Auswirkung von Tröpfchen im Becken ist möglich durch Geräte, die die Tropfen auffangen und sie in das Becken ablaufen lassen (Auffangdeflektor). Wirkung: maximal 7 dB.
- Wassersammeltröge unterhalb der Einbauten haben auch eine ablenkende Wirkung: maximal 10 dB. Der Nachteil der Ablenkungsmethoden ist die Anfälligkeit für die Verschmutzung der Oberflächen der Auffanggeräte, die potentiell das Wasser kontaminieren kann.

3.6.2.1.2 Sekundärmaßnahmen

Folgende Sekundärmaßnahmen wurden angewandt:

- Schalldämpfung durch Dämpfer am Lufteinlass: maximale Verminderung 20 dB. Ein Nachteil könnte der Luftdruckabfall sein, der bis zu 10 Pa betragen kann. Der Druckabfall kann bis zu 20 % der installierten Ventilatorkapazität erfordern.
- Erdbarrieren um den Fuß des Turms herum: Dämpfungseffekt von 10 dB.

- Schallmauern (oder Schirme) mit den Schall absorbierenden Belägen bieten eine Schalldämpfung von 20 dB. Bei diesen Konstruktionen hängt die Wirksamkeit von ihrer Bauweise und der Entfernung zum Fuß des Turms ab.

3.6.2.1.3 Trockenkühltürme

Das Geräusch von Trockenkühltürmen wird vorwiegend von den Ventilatoren verursacht, aber bei mittelgroßen bis großen Türmen kann das Geräusch von Wasser dominierend werden, wenn es mit hohen Geschwindigkeiten durch die Wärmetauscher fließt. Im Fall von Kondensatoren kann der Schall deutlich ausgeprägt werden, wenn geräuscharme Ausrüstung verwendet wird und das Fließgeräusch der Kondensatorröhren das gleiche Ausmaß wie das Ventilatorgeräusch erreicht. In derartigen Fällen kann eine weitere Schalldämpfung wichtig werden und die Isolierung der verbindenden Rohrleitungen muss in Betracht gezogen werden.

3.6.2.2 Lärmbekämpfung bei mechanischen Ausrüstungen (Kühltürme mit mechanisch erzeugtem Luftzug)

Für die Lärmbekämpfung von herabstürzendem Wasser in mittelgroßen bis großen Kühltürmen mit mechanisch erzeugtem Luftzug kann auf die gleichen Primärmaßnahmen Bezug genommen werden, wie sie für Naturzugtürme erwähnt wurden. Zusätzlich werden angewandt:

- Gitter oder geflochtene Strukturen von feinen Sieben, die auf dem Wasser treiben, um das Spritzgeräusch der fallenden Tröpfchen zu vermindern. Es wurde über keine Quantifizierung des Verminderungseffekts berichtet.

Die Schalldämpfung an der mechanischen Ausrüstung bezieht sich hauptsächlich auf die Verminderung des Ventilatorgeräusches sowohl in Nass- als auch in Trockenkühltürmen. Die angewandten Maßnahmen sind primär (Ausrüstung) oder sekundär (Absorption). Die verschiedenen Schalldämpfungsmaßnahmen erreichen Lärmbekämpfungspegel von rund 20 dB(A) und bis zu 30dB(A). Für diesen hohen Lärmminierungspegel ist es erforderlich, eine leisere Ausrüstung mit zusätzlicher Geräuschdämmung zu kombinieren, z.B. Schallwände oder Schalldämpfer. Diese Ausrüstung für die passive Geräuschdämmung steigert die Investitionskosten, aber die Betriebskosten bleiben angemessen.

3.6.2.2.1 Primärmaßnahmen

Die folgenden Primärmaßnahmen wurden berichtet:

- Ventilatormaßnahmen:
 - Ventilatoren mit niedriger Leistung (ein paar dB(A) Verminderung);
 - größere Luftkühlerventilatoren können einen Unterschied von 2-6 db(A) erzeugen; Anzahl der Ventilatorflügel, 6-8 anstelle von 4, macht auch einen Unterschied (senkt auch den Energiebedarf);
 - Verwendung von geräuscharmen Ventilatoren mit breiteren Flügeln und niedrigeren Umfangsgeschwindigkeiten (< 40 m/s) für den gleichen Luftdurchsatz und Luftdruck.
- Geräuscharme Zahnradantriebe (niedrige Übersetzungsverhältnisse oder vielpolige Antriebsmotoren), Spindelgetriebe anstelle von rechtwinkligem Getriebe, Riemenantrieb und, wenn möglich, Direktantriebe.
- Riemenantrieb mit Keilriemen, Flachriemen oder geräuscharmen formgezahnten Riemen. Wenn möglich, sollten die Riemen verkapselt werden.
- Geräuscharme Ventilatormotoren.
- Radiale anstelle von axialen Ventilatoren.
- Größtmöglicher Abstand zwischen den Ventilatorflügeln und der Stützkonstruktion.
- Verwendung flexibler Unterlagen für Antrieb und Ventilatormotoren
- Aerodynamische Auslegung der Luftdurchgänge.

Eine weitere Verminderung kann über die Betriebsart der Ausrüstung erreicht werden. Die Anzahl der Umdrehungen pro Minute kann eine weitere Verminderung des Ventilatorgeräusches erreichen. In einem Zeitraum geringeren Bedarfs (nachts) könnten die Ventilatoren mit einer geringeren Drehzahl betrieben werden und eine Verminderung der Drehzahl um 50 % kann zu einer Lärmminierung von rund 6-10 dB(A) führen.

3.6.2.2 Sekundärmaßnahmen

Sekundärmaßnahmen für Ventilator Kühltürme am Lufteinlass und Luftauslass sind von Nutzen. Im Vergleich zum Vorteil einer Lärminderung von 10 bis 25 dB(A) muss ein höherer Druckabfall von 20 bis 70 Pa hingenommen werden, der durch zusätzliche Energiezufuhr oder größere (lautere) Ventilatoren überwunden werden muss.

Beispiele sind:

- Die Geräuschdämmung des Luftkanals und des Gehäuses kann mit einer Minderung von 5 dB(A) zur Lärminderung beitragen.
- Schallabsorbierende Baukreuze, die in den Luftauslass (Diffusoren) kleinerer Ventilator Kühltürme eingebaut sind, mindern die Schallemission und bieten auch ein besseres Strömungslinienmuster und dadurch besseren Zug.
- Tröpfchenabscheider in Nasskühltürmen können abgedeckt werden.
- Zusätzlich haben sich Erdanschüttungen oder Wände (Gebäude oder Lärmschutzwände) um die Lufteinlassöffnungen als erfolgreich erwiesen. Die Schallminderung durch Abschirmung kann in der Umgebung des Kühlturms bis zu 20 dB(A) betragen.

3.6.2.3 Kosten der Lärminderung

Die Kosten der Lärminderung weichen erheblich voneinander ab. Sie sind abhängig von der Art der Maßnahme und davon, ob sie Teil der Auslegung einer neuen Kühlanlage sind, oder einer Maßnahme, die während der Nachrüstung einer Anlage durchgeführt wurde. Für die Neueinrichtung eines Hybridturms beliefen sich die Gesamtkosten für die Lärminderung (Ventilator, Schallwände) auf rund 20 % der gesamten Investition.

Mit Bezug auf die Kosten wurde ein Beispiel berichtet, das zeigt, wie die Kosten mit steigender Lärminderung steigen. Für einen axialen Ventilator konnten verschiedene Auslegungen (Wert C und Umfanggeschwindigkeit) angewandt werden ohne den Druckabfall und die Wirksamkeit des Durchflusses/Ventilators zu mindern. Im Fall von geräuscharmen und ausserordentlich geräuscharmen Ventilatoren werden zusätzliche Maßnahmen am Antrieb zu zusätzlichen Kosten führen.

Tabelle 3.13: Beispiel der Kostensteigerung bei verschiedenen Ventilatorauslegungen bei verminderten Schall-Leistungspegel

Abgeleitet von [tm086, Van der Spek, 1993]

Ventilatorauslegung	Schall-Leistungspegel (dB(A))	Preisindex
Klassisch	100	1
geräuscharm	95	1,5
Sehr geräuscharm	90	3
Außerordentlich geräuscharm	85	4

Die Daten in Tabelle 3.13 zeigen nur die Kostenunterschiede für die verschiedenen Ventilatorauslegungen, aber die Kosten für die Kraftübertragung des Antriebs, die Schalldämmung und den Bau des Kühlturms sind auch zu berücksichtigen. Die Kosten für Primärmaßnahmen, wie zum Beispiel ausserordentlich geräuscharme Ventilatoren, können gleichzeitig wegen des niedrigeren Strombedarfs deutlich geringere Betriebskosten bieten. Man kann deshalb nicht unzweideutig zu dem Schluss kommen, dass die Minderung des Schall-Leistungspegels nicht rentabel wäre.

3.7 Risiken in Verbindung mit industriellen Kühlsystemen

3.7.1 Leckagerisiko

[tm001, Bloemkolk, 1997]

3.7.1.1 Auftreten und Folgen

Leckage kann sowohl in Wasser- als auch Luftkühlsystemen auftreten, aber im Allgemeinen betrifft Leckage wassergekühlte Systeme. Besonders bei Durchlaufsystemen dringt die Verunreinigung unmittelbar über das Kühlwasser in die aquatische Umgebung ein. Bei offenen und geschlossenen nassen Kreislauf- und Hybridsystemen geschied dies nicht unmittelbar, aber die Leckage wird das Kühlmittel verunreinigen und die Chemie des Kühlmittels wird mit Folgen für den Wärmeaustauschprozess gestört. Die Wirkung der Leckage auf die Arbeit der oxidierenden und nicht oxidierenden Biozide wurde deutlich dargestellt [tm090, Grab et al, 1994]. Am Ende werden die ausgetretenen Prozess-Stoffe mit der Abflutung ausgeschieden.

Bei direkten Luftkühlsystemen kann die Leckage zur Verunreinigung der Kühlluft führen, aber im Allgemeinen wird die Leckage nicht als Umweltproblem der trockenen Luftkühlung angesehen. Dies lässt die Verantwortung des Betreibers unverändert, zu versuchen, die Leckage aus Trockenkühlsystem zu verhindern. Kühlsysteme, die Kältemittel verwenden, werden im Rahmen dieses Dokuments nicht behandelt.

Wärmetauscher sind der Korrosion, Erosion und anderen Formen der Abnutzung ausgesetzt. Faktoren, wie zum Beispiel Wahl des Materials, Fließgeschwindigkeiten, Wandtemperatur und Drücke beeinflussen dies. Als Ergebnis davon kann es zur Leckage von Prozessflüssigkeiten und Verunreinigung der Kühlmittel oder Verunreinigung/Störung des Prozesses kommen. Die Art des Kühlers kann ebenfalls ein potentiellen Einfluss auf das Leckagenrisiko haben. In der Praxis führt eine Betriebsart, die sich von der in der Auslegung vorgesehenen unterscheidet, zu Schwingungen und schließlich Leckage. Leckage wird zum relevanten Problem, wenn der zu kühlende Durchfluss Bestandteile enthält, die umweltschädlich sind. Die Leckage von Kondensatoren in Kraftwerken oder von Kondensatoren von Verdunstungsanlagen werden unter dem Gesichtspunkt der Wasserqualität nicht als Problem angesehen sondern eher unter einem prozesstechnischen Gesichtspunkt. Bei Kraftwerken bedeutet die Leckage einen Verlust an Vakuum im Kondensator, der zu einem Verlust der Leistungsfähigkeit des Stromerzeugungsprozesses führt. Bei der Kühlung von Industrieöfen (Dampferzeugung) kann die Leckage von Wasser zu Explosionen führen.

Der Produktverlust bei der Leckage von Wärmetauschern kann wichtig sein, wenn in einer korrosionsfördernden Umgebung (wie zum Beispiel Salzwasser) relativ leicht korrodierendes Material verwendet wird (zum Beispiel Kupferkondensatoren). Kupfer wird oft verwendet, es vermindert die Chancen für die Verschmutzung, aber in der Praxis wird Verschmutzung auch in Kupferkondensatoren vorgefunden. Kupferemissionen sind unerwünscht und können mit besseren Materialien, wie zum Beispiel Titan und rostfreiem Stahl oder durch den Zusatz von korrosionsbeständigen Verbindungen verhindert werden.

Leckage wird manchmal auch auf das 'Schwitzen' von Kühlern zurückgeführt. Dies betrifft das Auftreten von kleinen Haarrissen oder das Austreten durch Dichtungsmaterial. Die häufigsten Beschädigungen an Wärmetauschern, die man aus der tatsächlichen Praxis berichtet, werden verursacht durch:

- Korrosion/Erosion als Ergebnis chemischer Verschmutzung (Lochkorrosion),
- Korrosion/Erosion als Ergebnis von Bewuchs, Chemikalien, Bakterien,
- mechanische Korrosion (aufgrund von Rissen oder vibrierenden Muscheln),
- Schwingungen (verursacht durch den Durchfluss oder die Resonanz externer Pumpen, etc.),
- leckendes, schadhaftes Dichtungsmaterial,
- Schwitzen von 'gewickelten' Rohr-Plattenanschlüssen,
- gelöste Rohr-Plattenhalterungen,
- Spannungen in den Materialien als Ergebnis von falschem Betriebsdruck und/oder Temperatur und
- Temperaturgefälle des Kühlers zu hoch, über 50° C kann Probleme verursachen.

In Durchlaufsystemen, die große Volumina verwenden, sind kleine Leckagen schwer zu entdecken. Im Fall von Kühlsystemen, die mehrere Wärmetauscher enthalten, kann es immer eine Anzahl von beschädigten Wärmetauschern geben, die einen mehr oder weniger konstanten Grad an Verschmutzung im Kühlwasser

verursachen, der niedrig ist und im großen Wasserdurchsatz kaum entdeckt werden kann. Größere Mengen an Leckage können entdeckt werden, aber im Allgemeinen bedeutet dies auch eine beträchtliche und bedeutende Emission. In rezirkulierenden Systemen von Kühltürmen werden mögliche leichtflüchtige Verbindungen ausgetrieben und die Leckage mit der Abflutung abgeleitet. Wegen des niedrigen Volumens des abgeleiteten Durchflusses ist die Entdeckung leichter und die Abflutung kann behandelt werden, wenn dies erforderlich ist.

Das Ausmaß der Leckage wird im Allgemeinen als Ergebnis von Vorfällen bekannt und im begrenzten Maß durch Messungen in Durchlaufsystemen. Größere Leckagen werden entdeckt und sind in der Regel sofort von ziemlicher Bedeutung. Daten aus tatsächlichen Fällen haben gezeigt, dass Leckagen von 100 bis 3.000 kg/24 Stunden mit einer Austrittsströmung in mg/l bei großen Abflüssen (10.000 m³/Stunde und mehr) leicht möglich sind. Die Häufigkeit von Ausfällen bei verschiedenen Arten von Wärmetauschern weist große Schwankungen auf.

3.7.1.2 Verminderung von Leckagen

Wärmetauscher sollten hinsichtlich der Verhinderung von Leckagen ausgelegt werden. Verschiedene Organisationen haben Empfehlungen zur Art der Wartung abgegeben. Sie besteht aus einer Kombination von vorbeugender und fehlerbehebender Instandhaltung, da es sich gezeigt hat, dass mit der Vorbeugung allein die Probleme nicht vollständig kontrolliert werden können. Die vorbeugende Instandhaltung ist oft Teil eines Produktionsstopps, einmal in jeweils zwei Jahren. Bei der fehlerbehebenden Instandhaltung wird ein Kühler abgeschaltet und die Leckagen werden instandgesetzt, zum Beispiel durch Abdichten einer leckenden Röhre oder durch Austausch eines Rohrstücks. Bei Wärmetauschern, die aus produktionstechnischen Gründen nicht abgeschaltet werden können, ist es wichtig, dass ein zweiter Reservekühler verfügbar ist. Es wird zunehmend klarer, dass "Defekte" und Leckagen hauptsächlich durch einen Fehler in der Auslegung verursacht werden. In der Prozessindustrie werden die zusätzlichen Kosten für eine teurere Konstruktion oder bessere Materialien durch die Kosten von Defekten in der Regel leicht mehr als wettgemacht. Die Investitionskosten sind niedrig, wenn man sie mit denen vergleicht, die ein Produktionsverlust mit sich bringt. Die Auslegung von Wärmetauschern sollte deshalb auf der Grundlage der "vorhergesagten Verfügbarkeit" stattfinden.

Die folgenden allgemeinen Maßnahmen können angewandt werden, um das Auftreten von Leckagen zu vermindern:

- Für die Ausrüstung von Nasskühlsystemen Material in Übereinstimmung mit der angewandten Wasserqualität auswählen;
- das System in Übereinstimmung mit seiner Auslegung betreiben;
- falls die Kühlwasserbehandlung erforderlich ist, das richtige Programm für die Kühlwasserbehandlung auswählen;
- die Leckage in der Kühlwasserableitung von rezirkulierenden Nasskühlsystemen (Abflutung) überwachen.

Falls in der Praxis Probleme entstehen, gibt es eine Reihe von Optionen, die teilweise von der Ursache abhängig sind:

Auf der Ebene des Bauteils (der Wärmetauscher):

- Die Ursachen für Erosion, Korrosion überprüfen.
- Die Betriebsbedingungen im Vergleich mit den Auslegungsbedingungen überprüfen.
- Den Kühler durch einen verbesserten Typ ersetzen, die Konstruktion und das Material überprüfen.
- Die Abflutung des Hauptstroms ist durch die Leckage der Reinigung des Nebenstroms verschmutzt (die Reinigung des Nebenstroms ist betroffen).
- Rezirkulation des Kühlwassers des betroffenen Kühlers entweder über einen Luftkühler und/oder Einsatz einer indirekten Wasserkühlung (Diese Option behebt natürlich keine Produktionsfehler, die auf das Versagen des Kühlers zurückzuführen sind).

Auf einer Systemebene (das gesamte Kühlwassersystem oder Teile davon)

- Zwischen dem Kühlwasser und dem Prozesswasser einen möglichst kleinen Druckunterschied aufrechterhalten oder einen Überdruck im Kühlwasser erzeugen oder aufrechterhalten;
- auf ein indirektes System (Sekundärkühlung) umstellen oder, falls technisch möglich, auf ein rezirkulierendes System mit Kühlturm umstellen (dabei die potentielle Verdampfung von Stoffen berücksichtigen).

Das von der chemischen Industrie angewandte VCI-Sicherheitskonzept spricht von Leckage als dem zeitweiligen Abfluss von Stoffen, der langwierige schädliche Veränderungen an Gewässern verursacht. Um dies zu verhindern und zu bekämpfen werden die chemischen Prozess-Stoffe eingestuft (mit Hilfe der R-Phrasen) und die endgültige Einstufung ist verbunden mit den Anforderungen hinsichtlich der Auswahl des (indirekten) Kühlkonfigurationssystems und der Art und Weise, in der die Leckage überwacht wird (siehe Anlage VII).

Es ist offensichtlich, dass die Anwendung eines vollständig indirekten Systems (Sekundärkühlsystem) oder eines rezirkulierenden Systems mit einem Kühlturm die Leckage fast zu 100 % kontrollieren kann. Nur wenn der Systemdruck fällt, kann Schmutzwasser freigesetzt werden, aber diese Strömung ist gering und kontrollierbar. Die Anwendung beider Optionen erfordert jedoch, dass man sich der Anforderungen des zu kühlenden Prozesses bewusst ist. Eine indirekte Auslegung (Sekundärkühlsystem) oder die Anwendung eines Kühlturms steigert den Kühlgrenzabstand und erhöht die minimale Endtemperatur des Prozess-Stoffs. Falls der zu kühlende Prozess dies ertragen kann, dann können die Merkmale des Prozess-Stoffes / der Prozess-Stoffe eine indirekte Auslegung rechtfertigen, um das aufnehmende Oberflächengewässer gegen unerwünschte Emissionen aufgrund der Leckage zu schützen.

Einige Unternehmen verwenden bewusst ein Kühlsystem, in dem die Teile, die zur Leckage neigen, mit indirekter Kühlung (Sekundärkühlsystem) versehen werden und die Teile, die nicht zur Leckage neigen, werden nicht damit versehen. Da die Kontrolle der Leckage schwierig zu sein scheint, sollten in der Kühlung vorrangig Stoffe und andere, für die Umwelt gefährliche Produkte und Durchlaufsysteme vorzugsweise nicht verwendet werden, besonders auch im Hinblick auf die verfügbaren Alternativen.

Bei einem bestehenden Kühlsystem ist eine indirekte Auslegung (Sekundärkühlsystem) weder technisch noch wirtschaftlich die anwendbarste Lösung. Die praktische Erfahrung mit der Anwendung eines soliden Wartungs- und Kontrollprogramms bei einem großen Durchlaufkühlsystem, das Salzwasser verwendet, erbrachte gute Ergebnisse. Es waren einige Auswechslungen von Kühlern erforderlich, aber 90 % der Defekte der verschiedenen Wärmetauscher konnten durch die richtige Antiverschmutzungsbehandlung und betriebliche Sorgfalt (Überwachung von Schwingungen, Bedienungsweise der Pumpen und Vorsicht beim Einengen der Strömung) vermindert werden. Die Leckageentdeckung wird angewandt und durch die Entdeckung an den richtigen Stellen kann die Zeit zwischen der Leckage des Wärmetauschers und ihrer Entdeckung verkürzt werden.

Die Entdeckung von Leckagen in Durchlaufsystemen ist schwierig, aber ein empfohlener Ansatzpunkt ist die Identifizierung von Wärmetauschern, die anfällig für Leckagen sind und schädliche Stoffe kühlen. Dann wird eine selektivere und genauere Messung der Leckage möglich. Vorbeugende und fehlerbehebende Instandhaltung sind gemeinsam wichtig, um Leckageprobleme zu bewältigen, aber die richtige Auslegung neigt dazu, die rentabelste Lösung zu sein.

3.7.1.3 Verminderung durch vorbeugende Instandhaltung

Visuelle Inspektion, Wasserdruckprüfung und zusätzliche Untersuchung an herausgezogenen Röhren sind Beispiele für frühere Inspektionsmethoden. Die Einschränkungen dieser Methoden lagen darin, dass sich die Inspektion auf die direkt sichtbaren Teile der Röhren konzentrierte. Schmutz verdeckt oft die frühen Stufen von Defekten und einheitliche Korrosion ist mit dem bloßen Auge schwer zu erkennen. Die Wasserdruckprüfung entdeckt nur leckende Röhren. Die Frage ist, wie wählt man eine repräsentative Röhre für die weitere Untersuchung aus. Als Folge davon konnten die oben beschriebenen Methoden die Umweltverschmutzung aufgrund von unerwarteter Leckage, Ausfall, Verminderung der Kapazität und/oder dem Auftreten von nicht spezifizierten Produkten nicht verhindern. Andererseits musste eine große Anzahl von Ersatzröhren für den unerwarteten Austausch von Röhren auf Lager gehalten werden.

Die Erfahrungen mit einer neuen Art der Untersuchung von Wärmetauscherröhren (mittels Wirbelstromprüfung) haben gezeigt, dass die Zuverlässigkeit von Wärmetauscherröhren bedeutend erhöht und dass die Emissionen aufgrund von Leckage vermindert werden können. Da diese Methode in der Lage ist, eine einzelne Röhre zu prüfen und eine Voraussage über den Defekt einer einzelnen Röhre liefern kann, beruht die Häufigkeit der Inspektionen auf Fakten. Als Folge davon können Inspektionsmethoden, die in der Lage sind, das Defektrisiko einzelner Röhren eines Wärmetauschers vorauszusagen zu einer Verminderung des Röhrenverbrauchs, besserer Lagerverwaltung und zum frühzeitigen Wissen um das Korrosionsverhalten führen.

Dies ergibt eine Verminderung von unerwarteten Ausfällen aufgrund von leckenden Röhren mit dem Umweltnutzen einer Verminderung der Emissionen über das Kühlwasser.

Die Anwendung dieser Methode am Standort einer Chemiefabrik ergab eine Verminderung von mehr als 90 % des Prozentsatzes der Auswechslung von Röhren seit der Einführung dieser Methode im Jahr 1990 [Paping, Dow Chemical Benelux Terneuzen, 1999]. Dies führte auch zu einer Minderung der jährlichen Kosten. Die jährlichen Einsparungen aufgrund der Verminderung der Anzahl der Röhren, die auszutauschen waren, waren rund fünfmal so hoch wie die Inspektionskosten. Die Anzahl der unerwarteten Prozessausfälle aufgrund von leckenden Röhren wurde im Lauf der letzten 10 Jahre um 90 % vermindert.

3.7.2 Lagerung von und Umgang mit Chemikalien

Die Lagerung von und der Umgang mit Chemikalien ist potentiell ein Umweltthema bei Nasskühlsystemen. Die Dosierung der Kühlsystemzusätze kann kontinuierlich oder in Abständen erfolgen und die Chemikalien können verdünnt oder unverdünnt zugeführt werden. Die Mengen der Chemikalien und ihre Eigenschaften weichen stark voneinander ab und sind von einer Reihe von Faktoren abhängig (z.B. Wasserchemie und Wärmetauschermaterial): Das Risiko aufgrund von Lagerung und Umgang ändert sich entsprechend.

So wird zum Beispiel für die pH-Kontrolle konzentrierte Schwefelsäure verwendet und diese wird in der Regel in Tanks aus weichem unlegiertem Stahl gelagert. Um den Aufbau von explosionsfähigen Wasserstoff/Luftgemischen im Lagertank zu verhindern, ist die korrekte Belüftung erforderlich. Siebeinsätze oberhalb der Säurepumpen sind ratsam, um alle restlichen Korrosionsprodukte oder andere Feststoffe, die sich im Lagertank befinden können, zu entfernen.

Manchmal werden die Zusätze vor Ort hergestellt. So kann zum Beispiel Hypochlorit an Küstenstandorten durch die Elektrolyse von Salzwasser hergestellt werden. Dieser Prozess mit dem Namen Elektrochlorung kann wegen des Potentials der Chlorgasbildung gefährlich werden. Auch erfordert die Anlage die häufige Säuberung mit Hilfe von Säuren. Um dieser Risiken zu vermeiden, werden alternative Behandlungen angewandt, wo dies möglich ist (z.B. Anlage XI.3.4.7).

Kühlzusätze können vom Bediener manuell oder mittels eines ausgeklügelten, durch Computer gesteuerten Systems eingegeben oder an Spezialfirmen, in der Regel die eigentlichen Lieferanten der Zusätze, ausgelagert werden. Die manuelle Eingabe hat ein höheres Risiko des Verschüttens und aus gesundheitlichen Gründen für die Umwelt und die Menschen sollten sichere Umgangsverfahren angewandt werden. Automatisierte Systeme sind einem Risiko der Vernachlässigung ausgesetzt, sie bedürfen der regelmäßigen Inspektion.

In der EU müssen die spezifischen Regelungen für den Transport, die Lagerung und den Umgang mit Chemikalien beachtet werden und Genehmigungen erfordern standortspezifische Maßnahmen. Im Allgemeinen ist es das Ziel, das Risiko des Verschüttens und der Leckage zu vermindern, um die Verschmutzung des Bodens und/oder Grundwassers zu vermeiden und das Explosionsrisiko zu vermindern, in dem man begrenzte Bereiche festlegt, wo die Lagerung von und der Umgang mit Chemikalien gestattet ist. Solche Bereiche werden ausgerüstet mit undurchlässigen Böden oder Gitterböden mit einem Tankwall, mit einer Trennung, um reaktive Chemikalien getrennt zu halten und mit einer erforderlichen Mindestbelüftungsrate.

BVT-Maßnahmen für die Lagerung von Gefahrstoffen sind in dem BREF über die Emission aus der Lagerung beschrieben.

3.7.3 Mikrobiologisches Risiko

3.7.3.1 Auftreten von Mikroorganismen

Die mikrobiologischen Risiken von Kühlsystemen beziehen sich auf das Auftreten von verschiedenen Arten von Krankheitserregern im Kühlwasser oder in Teilen des Systems, die mit dem Kühlwasser in Berührung stehen, wie zum Beispiel Biofilme in Wärmetauschern oder den Kühleinsbauten in Kühltürmen. Diese Risiken sind bei Trockenkühlsystemen kein Thema.

Die hauptsächlichsten thermophilen Krankheitserreger, die man in Nasskühlssystemen findet, die mit Flusswasser betrieben werden, sind die Bakterien *Legionella pneumophila* (*Lp*) und die Amöbe *Naegleria fowleri* (*Nf*). Im Meerwasser können sich einige halophile vibriose Gattungen, krankheitserregend für Fisch oder Mensch, in den Durchlaufkühlssystemen entwickeln. Die erwähnten Gattungen treten in der natürlichen Umgebung in allgemein niedrigen und harmlosen Konzentrationen auf. Aufgrund der erhöhten Temperatur kann in Kühlssystemen ein günstiges Klima vorkommen, das die Entwicklung dieser Bakterien fördert und dies kann zu einem potentiellen Risiko für die menschliche Gesundheit werden. Die Entwicklung der *Legionella* wird gefördert durch Verschmutzung, das Vorkommen von Amöben, Ziliaten und Algen. Sie wird durch Aerosole verbreitet. Nach einigen großen Ausbrüchen wurden das Auftreten und die Merkmale der Legionärskrankheit (LK) und die Entwicklung der *Lp* unter medizinischen/ biologischen Gesichtspunkten weitgehend erforscht. Aber viele Punkte im Hinblick auf die chemische und Prozesstechnologie bleiben unklar.

In der Kühlturmfahrt eines Naturzugnasskühlturms mit einer beträchtlichen Höhe und einem gut funktionierenden Tropfenabscheider hat die Emission von Bakterien weniger Bedeutung, aber sie ist nicht unmöglich. Eine hohe Konzentration von *Lp* in der Kühlturmfahrt eines Naturzugnasskühlturms wurde berichtet aufgrund von Verschmutzung auf der Innenseite der Betonwand des Kühlturms. Die Schicht hatte sich gelöst und war auf den Tropfenabscheider gefallen [tm145, Werner and Pietsch, 1991].

Das Auftreten von *Lp* in der Kühlturmfahrt von industriellen Ventilatorkühltürmen, die eine viel geringere Höhe haben als Naturzugkühltürme, wurde bei einer Reihe von Anlässen berichtet [tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994], aber eine klare Ursache und Wechselwirkung zwischen Kühltürmen und dem Ausbruch von LK konnte nicht festgestellt werden. Wo eine Beziehung zwischen Kühlssystemen und einem Ausbruch von LK hergestellt werden konnte, betraf sie immer schlecht gewartete Systeme [Morton et al., 1986].

Typische Bedingungen in Nasskühltürmen, die die Entwicklung von *Legionella* fördern, sind:

- Die Wassertemperatur in den Kühltürmen liegt zwischen 25 und 50° C,
- der pH-Wert zwischen 6 und 8,
- Verschmutzung liegt vor.

Weniger Informationen wurden gegeben über das Auftreten und die Behandlung anderer Krankheitserreger wie zum Beispiel *Nf*. Es wurde beobachtet, dass die Entwicklung von *Nf* durch Messing gehemmt und durch rostfreien Stahl gefördert wird. Die Amöben treten auch reichlicher in offenen rezirkulierenden Systemen auf als in Durchlaufkühlssystemen. Mit Bezug auf die Behandlung von *Nf* wurden Forschungsarbeiten durchgeführt, nachdem in der Folge eines Austausches der Kondensatoren in einem französischen Kraftwerk erhöhte Konzentrationen (3.000 l^{-1}) im Kühlwasser der Anlage aufgetreten waren. Kontinuierliche Chlorierung mit einer maximalen Konzentration an freiem Restchlor senkten die Konzentrationen von *Nf* sofort und die Konzentrationen blieben unter 4 Krankheitserreger/l. [tm 144, Cabanes et al, 1997].

3.7.3.2 Überwachung von Bakterien

Lp-Bakterien werden in Kolonien bildenden Einheiten [colony forming units = CFU] oder CFU pro Liter überwacht und es wird berichtet, dass sie in der Konzentration im Kühlwasser schwanken zwischen sehr niedrig (nach unten bis zu 10 CFU/l) bis sehr hoch (10^5 - 10^6 CFU/l). In Biofilmen wurde *Lp* in Konzentrationen von bis zu 10^6 CFU/cm² gefunden.

Für Klimaanlageanlagen werden im UK Werte von 100 – 1.000 CFU angewandt, es ist jedoch nicht klar, ob man dies mit den Konzentrationen in gut gewarteten Nasskühltürmen und dem mit diesen Situationen verbundenen Risiko vergleichen kann. Es wurde eine Empfehlung abgegeben, die Konzentration von *Lp* unter 10^4 CFU/l zu halten. Die Quantifizierung von repräsentativen Konzentrationen von *Lp* in industriellen Nasskühlssystemen und der Konzentration von CFU in Nasskühltürmen, der im Hinblick auf die menschliche Gesundheit noch akzeptabel ist, können weitere Forschungsarbeiten erfordern.

3.7.3.3 Techniken zur Verminderung mikrobiologischer Risiken

([038, Millar et al., 1997] und [tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994], [tm166, Morton et al, 1986] [tm167, Fliermans, 1996],)

Die Kette von Ereignissen, die zu einem Ausbruch von *Legionella* führt, umfasst:

- Die Entwicklung einer ansteckenden Art von Bakterien im Kühlsystem;
- Bedingungen, die die Vermehrung von Bakterien fördern;
- kontaminiertes Wasser, das als Aerosol an die Atmosphäre abgegeben wird;
- genügend Tröpfchen, die von anfälligen Personen eingeatmet werden.

Die Verhinderung von *Legionella* sollte deshalb auf der Grundlage der Verhinderung der Entwicklung und Vermehrung von Bakterien im Kühlsystem erfolgen. Besonders in den USA und im UK wurden Empfehlungen für die Verhinderung der LK entwickelt. Die regelmäßige Analyse des potentiellen Reservoirs (z.B. Kühlturm) und zusätzliche routinemäßige Wartung, richtige pH- und Temperaturniveaus, angemessene Konzentration von Restbioziden und die Kontrolle der Qualität des Zusatzwassers können das Vorkommen von Umgebungen verhindern, die die *Legionella* fördern.

Bei der Verhinderung der Bildung von *Lp*-Bakterien (und anderer) in Kühltürmen sollten die folgenden Maßnahmen angewandt werden:

- Sauberes Wasser verwenden und, falls möglich, das Kühlwasser vorher aufbereiten;
- Prozessleckage in das Kühlsystem vermeiden;
- stehende Bereiche vermeiden;
- die Bildung durch Verminderung der Lichtenergie im Kühlturm verhindern und damit die Algenbildung vermeiden; offene Wasserbecken sind zu vermeiden;
- leichter Zugang für die regelmäßige Säuberung ist zu ermöglichen;
- Verwendung von Tropfenabscheidern, die leicht gesäubert und ausgetauscht werden können;
- die Kaltwassertemperatur so niedrig wie möglich auslegen (geringe Kühlgrenzabstände);
- Verkrustung und Korrosion vermeiden;
- Optimierung der Konstruktion, um die richtige Wasser- und Luftgeschwindigkeit zu fördern;
- Ein Mindestabstand des KT von besiedelten Gebieten kann unmöglich angegeben werden, man sollte aber Überlegungen anstellen, um zu vermeiden, dass die Kühlturmfahne die Bodenhöhe oder besiedelte Gebiete erreicht, falls es der Raum ermöglicht.
- Die Minimierung der Bildung von Kühlturmfahnen sollte die Ausbreitung begrenzen.

Mit Bezug auf den Standort eines Kühlturms wurde eine Wertung des mit einem Kühlturm verbundenen mikrobiologischen Risikos vorgeschlagen. Sie basiert auf der Wirtsbevölkerung und ihrer potentiellen Anfälligkeit. Die Bewertungskategorien sind:

- Kategorie 1: Höchstes Risiko – Kühlturm, der ein Krankenhaus, Pflegeheim oder eine andere Einrichtung der Gesundheitspflege versorgt, die Personen pflegt, die immunologisch geschädigt sind oder ein Kühlturm in deren Nähe (<200 m).
- Kategorie 2: Kühlturm, der eine Ruhstandsgemeinschaft, Hotel oder andere Gebäude versorgt, die eine große Zahl von Menschen beherbergen oder ein Kühlturm in deren Nähe (>200 m).
- Kategorie 3: Kühlturm in einem Industriegebiet in Nachbarschaft zu einem Wohngebiet.
- Kategorie 4: Niedrigstes Risiko – Kühlturm, der von Wohngebieten isoliert ist (>600 m von Wohngebieten).

Auf der Grundlage dieser Bewertung schwankt die Inspektion auf das Vorhandensein von *Legionella* zwischen monatlich (höchstes Risiko), monatlich bis vierteljährlich (Kat. 2), vierteljährlich bis jährlich (Kat. 3) und einmal im Jahr nach dem Sommer (Kat. 4).

Folgende Maßnahmen werden den Bedienern von Kühltürmen empfohlen:

- Im Fall von Prozessausfällen und Inbetriebnahmen muss Sorgfalt angewandt werden, besonders dann, wenn das Kühlzirkulationssystem länger als 4 Tage ausgefallen ist.
- Die Bediener, die die Kühltürme betreten, sollten vermeiden, die Luft einzuatmen, indem sie Mund- und Nasenschutz verwenden (P3-Maske hat sich bewährt).
- Beim Säubern eines Kühlsystems nach der Entdeckung von *Lp* ist eine Kombination von mechanischer Säuberung und eine Schockdosage von Biozid einzusetzen.

Zu diesen Empfehlungen können einige zusätzliche Anmerkungen gemacht werden. Nach einem längeren Abschalten ist es dringend erforderlich, das Kühlsystem mit einem Biozid (Chlor) zu behandeln. Falls Beweise für ein schmutziges oder kontaminiertes System vorliegen, einschließlich des Zubehörs wie Schalldämpfung, muss es vor der Inbetriebnahme gesäubert werden und eine Schockbehandlung mit Biozid erhalten. Ein kompetentes Wasserbehandlungsunternehmen sollte diese Behandlung durchführen. Die Desinfizierung des Systems kann erforderlich werden, falls es stark kontaminiert ist.

Die Erfahrung zeigt klar, dass die Behandlung mit Chemikalien hauptsächlich die Bakterien im Wasser behandelt. Um das Kühlsystem gründlicher zu kontrollieren und zu säubern, muss auf Sedimente und Verschmutzung an der Oberfläche des Kühlsystems geachtet werden. Daher die Bedeutung der mechanischen Säuberung.

Die in der Literatur erwähnte Konzentration von freiem Chlor von 50 mg/l ist eindeutig ein Schockdosagenkonzentration, die nach einem Ausbruch der LK angewandt wurde. Wegen der großen Menge des beteiligten Hypochlorits ist es klar, dass diese Behandlung in einem Kühlturm auf der Ebene der Wartung nicht angebracht ist. Auf jeden Fall würde nach einer Schockdosage die Entgiftung des aufbereiteten Kühlwassers erforderlich; vorher wurde im Allgemeinen die Ableitung und die Behandlung mit Hydrogensulfit angewandt.

Ein hohes Instandhaltungsniveau ist vorzuziehen, um die Entwicklung von *Lp* so weit wie möglich zu verhindern. Im Allgemeinen werden oxidierende Biozide zum Abtöten der *Legionella* im Wasser bevorzugt. Langsamer reagierende Mittel werden benötigt, um die Bakterien in den Biofilmen anzugreifen. Dies würde dann die Behandlung mit nicht oxidierenden Bioziden erforderlich machen. Von diesen haben die QACs bessere Ergebnisse gezeigt als die Isothiozoline.

In einem kürzlichen niederländischen Bericht [tm155, Berbee, 1999] wurden einige Ergebnisse bei der Verminderung der CFU-Konzentration in Kühltürmen mitgeteilt, die bestätigten, dass eine wirksame Mindestkonzentration von Bioziden noch nicht festgestellt wurde. Man kam zu dem Schluss, dass hohe Konzentrationen an Bioziden erforderlich waren, um die CFU-Konzentrationen zu vermindern, aber sie zeigten nur eine vorübergehende Wirkung. Man muss sich über die Nebenwirkungen von erhöhten Konzentrationen an toxischen Nebenprodukten im Klaren sein. Niedrigere Wassertemperaturen schienen wirkungsvoller zu sein als die Anwendung von Bioziden (Tabelle 3.14), aber dies ist vielleicht nicht in jedem Fall anwendbar. Untersuchungen über die Wirkung der Behandlung von Protozoen zeigten, dass sehr hohe Konzentrationen benötigt werden, um die Protozoen abzutöten und dass Zysten gegenüber den angewandten nicht oxidierenden Bioziden kaum anfällig sind.

Tabelle 3.14: Auswirkungen der Temperatur und der Behandlung mit Bioziden auf die KBE-Konzentrationen in Kühltürmen

Zitiert aus Kusnetsov durch [tm155, Berbee, 1999]

Kühlturm	Wirkung niedrigerer Temperatur	Biozid Konz. (mg/l)	Wirkung von Biozid	Anmerkungen
A	T 25°C~10 ⁵ CFU bis T 15°C~10 ³ CFU	PHMB, 3, Schock	Zeitweilig unter Entdeckungsgrenze	
B	T 25°C~10 ⁴ CFU bis T 15°C~10 ³ CFU	BNPD, 5, Schock	Zeitweilig unter Entdeckungsgrenze	
C	nicht berichtet	PHMB, 2-250, Schock	Nicht klar	Wechsel zu Leitungswasser
D	nicht berichtet	PHMB, 4-11, Schock	Zeitweilig, 10 ⁴ CFU/l bis 10 ³ CFU/L	
E	nicht berichtet	BNPD, 65-190, Schock	Zeitweilig, 10 ⁵ CFU/l bis 10 ³ CFU/l	
Anmerkungen: PHMB: Polyhexamethylenbiguanidchlorid (QAC) BNPD: Bromnitropropandiol				

3.8 Abfälle aus dem Betrieb von Kühlsystemen

Es wurde wenig berichtet über die Abfälle oder Rückstände aus dem Betrieb von Kühlsystemen. Bei allen Kühlsystemen kann das Außerbetriebsetzen eines Teils oder des ganzen Systems in einem gewissen Stadium zu einem Thema werden. Die Nachrüstung und der Austausch der Einrichtung ebenso wie die Änderung der Betriebsart erzeugen die folgenden Abfälle, die zu entsorgen sind:

- Schlamm aus der vorhergehenden Aufbereitung von Einlaufwasser (z.B. Ausfällungsenthärtung), Aufbereitung von Kühlwasser oder der Abflutung aus dem Betrieb von rezirkulierenden Kühlsystemen (siehe Anlage XI 3.4);
- gefährlicher Abfall (z.B. kleine Behälter, verschüttetes Material) im Zusammenhang mit der chemischen Behandlung von Kühlwasser in Nasskühlsystemen;
- Abwasser aus Säuberungsaktionen;
- Abfälle als Ergebnis von Nachrüstung; Austausch oder Außerbetriebsetzen der Anlage.

3.8.1 Bildung von Schlämmen

Zur Bildung von Schlämmen kann es in den Sammelbecken von Nasskühlsystemen kommen. Mengenmäßig gesehen wird mit dem Prozess der Ausfällungsenthärtung mehr Schlamm erzeugt, wenn dieser auf dem Betriebsgelände vorgenommen wird. Es wurde über keine besonderen Maßnahmen zur Verminderung der Schlammbildung berichtet. Die geeignete Kühlwasserkonditionierung vermindert wahrscheinlich die Ablagerung von Schlamm. Gegenwärtig bestimmen die chemische Zusammensetzung des Schlammes und die lokale (oder nationale) Gesetzgebung die Entsorgungsmethoden für Schlämme. In einigen Mitgliedstaaten können die Schlämme in das ursprüngliche Oberflächengewässer zurückgeführt werden, aber in anderen müssen sie auf strenger definierte Weise behandelt werden.

Am Boden der Wasserbecken von Kühltürmen abgelagerte Schlämme und Schlick können Zysten oder resistente Formen von krankheitserregenden Bakterien und Protozoen (3.7.3) enthalten. Krankheitserregende Amöben und *Legionella pneumophila* finden sich in sehr hohen Konzentrationen im Schlamm, der sich während der Ausfallzeit aus Kondensatoreröhren sammelt, oder im klärenden Eisenchlorid-Schlamm [tm145, Werner and Pietsch, 1991]. Zysten von *Lp* finden sich auch in der Verkrustung auf den Kühleinheiten. Folglich wird empfohlen, dass die mikrobiologische Qualität dieser Art von Rückständen vor der Entsorgung oder der Wiederaufbereitung von PVC-Kühleinheiten untersucht wird. Eine spezielle Behandlung kann erforderlich werden, falls die Handhabung und Wiederaufbereitung diese Abfälle ein bedeutendes Gesundheitsrisiko verursacht.

3.8.2 Rückstände aus der Kühlwasseraufarbeitung und Reinigungsvorgängen

Die Behandlung von Kühlwasser (besonders für größere Systeme) erfolgt automatisch und in vielen Fällen werden die Stoffe in Containern und Tanks aufbewahrt und werden vom Lieferanten gelagert, transportiert und angewandt.

Das Gleiche gilt für Abwasser, das aus Säuberungsaktionen stammt. Hier werden auch mehr und mehr spezialisierte Unternehmen für diese Arbeit unter Vertrag genommen.

Die Erzeugung und Entsorgung dieser Art von Abfall ist jedoch nicht typisch für industrielle Kühlsysteme. Das Ausmaß, in dem dies ein Umweltproblem darstellt, hängt eng zusammen mit der Art und Weise, in der das Kühlsystem betrieben wird, der vorhergehenden Aufbereitung des Einlaufwassers und der Effizienz des Kühlsystems. Über dieses Umweltthema wurden keine Informationen geliefert.

3.8.3 Rückstände aus der Nachrüstung, dem Austausch und der Außerbetriebnahme einer Anlage

Im Allgemeinen werden Kühlsysteme für eine lange Betriebsdauer ausgelegt und gebaut (bis zu 20 Jahren und mehr). Offensichtlich ist ihre Betriebsdauer umso länger, je besser sie betrieben und gewartet werden. Sie sollten aber auch für die besonderen Umstände, in denen sie verwendet werden sollen, ausgelegt und gebaut

werden. Besondere Materialien sollten auch in der Auswirkung auf die Umwelt betrachtet werden, wenn man sie als Teile eines Kühlsystems anwendet, außer Betrieb setzt oder austauscht. Die folgenden Beispiele wurden berichtet.

3.8.3.1 Verwendung von Kunststoffen

Es werden zunehmend verschiedene Arten von Kunststoff zum Bau von Kühltürmen verwendet, wie zum Beispiel Polyvinylchlorid, Polypropylen, Polyethylen und glasfaserverstärkte Kunststoffe. Ihre Eigenschaften machen sie im hohen Maß geeignet für die Anwendung in der oft korrosiven, sehr anspruchsvollen Umgebung eines Kühlturms. In einem technischen Papier der Deutschen Organisation der Kraftwerksbetreiber [tm., VGB, 2000] wurden die aktuellen Erfahrungen beschrieben. Die Verwendung von Kunststoffen kann eine Möglichkeit zur Verminderung von Abfall sein, falls nach dem Austausch der Kunststoffelemente eine Möglichkeit zur Wiederverwertung besteht. Es wurde bisher über keine Erfahrungen berichtet, die dies schildern könnten.

3.8.3.2 Behandlung von Holz für den Bau von Nasskühltürmen

Holz wurde und wird für Kühltürme verwendet, aber es muss behandelt werden, um seine Langlebigkeit zu sichern. Das in Kühltürmen sowohl für Kühleinbau- als auch für Stützkonstruktionen verwendete Holz kann chemisch behandelt werden. Die Behandlung beruht und kann noch immer beruhen auf CCA (Kupfersulfat, Kaliumdichromat und Arsen trioxid) wegen seiner Fähigkeit, mit dem Holz verbunden zu bleiben. Es wird behauptet, es verliere über seine Betriebszeit nur 10 % an Gewicht.

Eine Quantifizierung des Ausmaßes, in dem Emissionen von mit CCA behandeltem Holz in die aquatische Umgebung vorkommen, kann nicht zitiert werden. Es wurde berichtet, dass behandeltes Holz noch beträchtliche Mengen von Chemikalien an der Oberfläche aufweist, obwohl es Zeit hat, diese abzugeben. Sie können mit dem ersten Wasserspülung im Kühlturm abgewaschen werden und werden früher oder später in das aufnehmende Gewässer abgeleitet.

Da CCA Chrom und Arsen enthält, erscheint es unwahrscheinlich, dass es noch viel länger verwendet wird. Die CCA-Behandlung von Holz ist nicht die beste verfügbare Technik und man erwartet, dass es verboten wird. Alternative Behandlungen zum Schutz von Holz wurden bereits entwickelt und angewandt. Man erwartet daher, dass die von CCA verursachten Emissionen in die Oberflächengewässer allmählich vermindert werden.

Falls mit CCA behandeltes Holz entsorgt werden muss, gestatten einige Länder die kontrollierte Entsorgung in einer geeigneten Mülldeponie, da sie geringes Auslaugen erwarten, wohingegen in anderen Mitgliedstaaten die Verbrennung in einer geeigneten Anlage bevorzugt wird, wo die meisten Elemente in einem Staubfilter zurückgehalten werden. Es übersteigt den Rahmen dieses BREF-Dokuments, das günstigste Verfahren für die Entsorgung von mit CCA behandeltem Holz zu bestimmen, aber hier muss man auch die endgültige Umweltbelastung der verschiedenen Optionen bewerten.

3.8.3.3 Nasskühlurmeinbauten

Sobald Kühlturmeinbauten ersetzt werden müssen, sind sie zu entsorgen. Kühleinbauten werden aus verschiedenen Materialien hergestellt und dies bestimmt die Art und Weise, in der man sie behandeln muss. Es wurden keine Daten über die Verschmutzungsgrad von Kühleinbauten berichtet.

Ein spezieller Fall ist die Verwendung von Asbestprodukteinbauten. Es war nicht möglich, zu beurteilen, ob dies in Europa praktiziert wurde, aber Asbest kann in der Vergangenheit in vielen Anwendungen, einschließlich des Baues oder der Kühleinbauten von Kühltürmen verwendet worden sein. Da die Gefahren aus der Verwendung von Asbest nicht länger angezweifelt werden, wird es in Kühltürmen nicht mehr verwendet. In alten Kühltürmen kann vielleicht noch Asbest gefunden werden und spezielle Maßnahmen sind für dessen Entfernung erforderlich.

Ein Hinweis berichtete über ein Beispiel, in dem es über einen Zeitraum von 10 – 17 Jahren des Betriebs zum Zerbröckeln der Asbesteinbauten kam und dies zu verminderten Wärmetausch führte. Die Entfernung und der Austausch der Kühleinbauten wurde unter strengen Sicherheitsbestimmungen erforderlich [tm082, Mittendorf, 1990].

4 BESTE VERFÜGBARE TECHNIKEN FÜR INDUSTRIELLE KÜHLSYSTEME

4.1 Einleitung

Zum Verständnis dieses Kapitels und seines Inhalts wird die Aufmerksamkeit des Lesers auf das Vorwort dieses Dokuments und besonders auf dessen fünften Absatz gerichtet: “Hinweise zum Verständnis und zur Benutzung dieses Dokuments”. Die Verfahren und Methoden und die damit verbundenen Emissions- bzw. Verbrauchsniveaus oder die Schwankungen der Niveaus, die in diesem Kapitel dargestellt werden, wurden durch einen iterativen Prozess bewertet, der folgende Schritte umfasst:

- Erkennung der grundsätzlichen Umweltfragen für den Prozess; die Betonung im Kühlungsprozess liegt klar auf der Erhöhung der Energieeffizienz (Erhöhung der gesamten Energieeffizienz des Prozesses), auf der Verminderung der Emissionen in das Oberflächengewässer durch die Optimierung der Kühlwasserbehandlung.
- Überprüfung der Techniken, die für Behandlung dieser Grundsatzfragen am relevantesten sind.
- Erkennung der besten Umwelleistungsniveaus auf der Grundlage der in der Europäischen Union und weltweit verfügbaren Daten; in den meisten Fällen werden die Leistungsniveaus als anlagenpezifisch angesehen.
- Überprüfung der Bedingungen, unter denen diese Leistungsniveaus erreicht werden, z.B. Kosten, medienübergreifende Effekte, die hauptsächlichen Antriebskräfte bei der Umsetzung dieser Verfahren. Im Allgemeinen wurde über Preisangaben zu den Verfahren in Kühlsystemen nur im sehr begrenzten Maß berichtet.
- Auswahl der besten verfügbaren Techniken (BVT) und der entsprechenden Emissions- bzw. Verbrauchsniveaus für diesen Sektor im Allgemeinen gemäß Artikel 2(11) und Anhang IV der Richtlinie.

Die fachmännische Beurteilung durch das Europäische IVU-Büro und die entsprechende Technische Arbeitsgruppe (TWG) spielten eine Schlüsselrolle bei jedem dieser Schritte und der Art und Weise, in der die Informationen hier vorgelegt werden.

Auf der Grundlage dieser Beurteilung werden die Verfahren und, soweit wie möglich, die Emissions- und Verbrauchsniveaus, die mit der Verwendung der BVT zusammenhängen, in diesem Kapitel vorgelegt, die man für die entsprechenden Kühlsysteme für geeignet hält und in vielen Fällen zeigen sie die gegenwärtige Leistung einiger eingesetzter Anlagen. Wo Emissions- oder Verbrauchsniveaus “im Zusammenhang mit den besten verfügbaren Techniken” vorgelegt werden, so ist dies so zu verstehen, dass diese Niveaus die Umweltleistung darstellen, die als Ergebnis der Anwendung unter den prozess- und ortsspezifischen Bedingungen der beschriebenen Techniken erwartet werden könnten. Dabei ist das Gleichgewicht von Kosten und Vorteilen, das der Definition der BVT innewohnt, im Auge zu behalten. Sie sind jedoch weder Grenzwerte für Emission oder Verbrauch noch erforderliche Mindestleistungsniveaus und sollten nicht als solche verstanden werden. In einigen Fällen mag es technisch möglich sein, bessere Emissions- oder Verbrauchsniveaus zu erreichen, aber wegen der damit verbundenen Kosten oder medienübergreifenden Überlegungen werden sie als BVT für die entsprechende Kühlkonfiguration nicht als geeignet angesehen. Derartige Niveaus oder Anwendungen können jedoch in spezifischen Fällen, in denen besondere Voraussetzungen bestehen, als gerechtfertigt angesehen werden.

Die mit der Anwendung der BVT in Verbindung stehenden Emissions- und Verbrauchsniveaus müssen zusammen mit jeder spezifizierten Referenzbedingung gesehen werden (z.B. Klima, Beschränkungen des Standorts).

Das oben beschriebene Konzept der “mit den BVT in Verbindung stehenden Niveaus” soll man unterscheiden von dem Begriff “erreichbarer Niveaus”, der in diesem Dokument an anderen Stellen verwendet wird. Wo ein Niveau als “erreichbar” beschrieben wird, wenn man eine besondere Technik oder eine Kombination von Techniken anwendet, so soll dies bedeuten, man könne erwarten, dass das Niveau über einen erheblichen Zeitraum in einer gut gewarteten und betriebenen Anlage oder einem Prozess erreicht werden kann, die diese Techniken anwenden.

Wo sie zur Verfügung standen wurden die Daten im Hinblick auf die Kosten zusammen mit der Beschreibung der Techniken im vorhergehenden Kapitel oder den Anhängen aufgeführt. Diese geben einen groben Hinweis auf den Umfang der betreffenden Kosten. Die tatsächlichen Kosten der Anwendung einer Technik sind jedoch stark von der jeweiligen Situation abhängig, zum Beispiel im Hinblick auf Steuern, Gebühren und die technischen Merkmale der betreffenden Anlage. In diesem Dokument ist es nicht möglich, derartige standortspezifische Faktoren vollständig zu bewerten. Wenn Daten im Hinblick auf die Kosten nicht vorliegen, werden aus den Beobachtungen bei bestehenden Anlagen Schlussfolgerungen über die wirtschaftliche Realisierbarkeit von Techniken gezogen.

Es ist beabsichtigt, dass die allgemeinen BVT in diesem Kapitel als Bezugspunkt gelten, mit dem man die gegenwärtige Leistung einer bestehenden Anlage oder einen Vorschlag für eine neue Anlage bewerten kann. Auf diese Weise unterstützen sie die Entscheidung über die angemessenen Bedingungen "auf der Basis der BVT" für die Anlage oder bei der Begründung von allgemein verbindlichen Regeln gemäß Artikel 9(8). Es ist vorauszusehen, dass neue Anlagen so ausgelegt werden können, dass sie Leistungen gemäß den allgemeinen, hier vorgelegten BVT-Niveaus oder sogar besser als diese erbringen können. Es wird auch in Betracht gezogen, dass sich bestehende Anlagen in Richtung der allgemeinen BVT-Niveaus bewegen könnten oder besser werden unter der Voraussetzung der technischen und wirtschaftlichen Anwendbarkeit dieser Techniken in jedem einzelnen Fall.

Obwohl die BREFs keine rechtlich verbindlichen Normen setzen, sollen sie Informationen für die Beratung der Industrie, der Mitgliedstaaten und der Öffentlichkeit über erreichbare Emissions- und Verbrauchsniveaus bieten, wenn man spezifische Techniken anwendet. Die geeigneten Grenzwerte müssen festgelegt werden unter Berücksichtigung der Ziele der IVU-Richtlinie und der örtlichen Überlegungen.

4.2 Horizontaler Ansatz zur Festlegung von BVT für Kühltssysteme

Vor der Zusammenfassung der Schlussfolgerungen aus den BVT in diesem Kapitel folgt eine kurze Erläuterung, wie der horizontale Charakter dieser BREFs zu interpretieren ist.

In einem horizontalen Ansatz geht man davon aus, dass die Umweltaspekte der angewendeten Techniken und die entsprechenden Verminderungsmaßnahmen bewertet werden können und dass generische BVT erkannt werden können, die unabhängig von den industriellen Prozessen sind, in denen die Techniken angewendet werden.

Industrielle Kühltssysteme sind ein integrierter Bestandteil des zu kühlenden industriellen Prozesses. Die Kühltssysteme in Rahmen dieses Dokuments werden in vielen der industriellen Sektoren unter dem Geltungsbereich der IVU-Richtlinie eingesetzt. Folglich ist die Vielfalt von Anwendungen, Techniken und betrieblichen Praktiken enorm. Zusätzlich führt der thermodynamische Charakter des Prozesses zu weiteren Unterschieden in der Leistung und folglich in den Wirkungen auf die Umwelt.

Wegen der starken Abweichung sind Vergleiche zwischen den Techniken schwierig, die zu allgemeinen Schlussfolgerungen über BVT führen. Man nimmt an, dass die Erkennung eines allgemein vorbeugenden Ansatzes möglich ist und zwar auf der Grundlage der praktischen Erfahrung bei der Verminderung von Emissionen aus Kühltssystemen.

In diesem vorbeugenden Ansatz oder **primären BVT-Ansatz** wird die Aufmerksamkeit zuerst auf den zu kühlenden Prozess gelenkt. Die Auslegung und die Konstruktion des Kühltystems sind ein wesentlicher zweiter Schritt, besonders bei neuen Anlagen. Schließlich wenden sich die Änderungen an der Ausrüstung und die Betriebsart, in der das Kühltssystem zu betreiben ist, an neue Anlagen. Sie sind jedoch besonders wichtig bei bestehenden Systemen, wo die technologischen Optionen erheblich beschränkt und kostenintensiv sind. Von Fall zu Fall müssen sorgfältige Untersuchungen vorgenommen werden.

4.2.1 Integriertes Wärmemanagement

4.2.1.1 Industrielle Kühlung = Wärmemanagement

Die Kühlung von industriellen Prozessen kann als Wärmemanagement angesehen werden und ist Teil des gesamten Energiemanagements innerhalb eines Werkes. Die Menge und das Niveau der abzuführenden Wärme erfordert einen gewissen Grad der Leistung von Kühlsystemen. Diese Leistung beeinflusst wiederum die Konfiguration, Auslegung und den Betrieb des Systems und folglich die ökologische Leistung (direkte Belastung) der Kühlsysteme. Im umgekehrten Fall wird sich die Kühlleistung auch auf die gesamte Leistungsfähigkeit des industriellen Prozesses auswirken (indirekte Belastung). Beide Belastungen, direkt und indirekt müssen ausgeglichen werden, wobei man alle Variablen berücksichtigt. Jede Änderung am Kühlsystem muss die Konsequenzen berücksichtigen, die diese auf dieses Gleichgewicht haben kann.

Dieses Konzept kann als Ausgangspunkt für die Formulierung des ersten Prinzips der BVT für Kühlsysteme angewendet werden. **BVT für alle Anlagen** ist ein integrierter Ansatz zur Verminderung der Umweltbelastung von industriellen Kühlsystemen, **die das Gleichgewicht zwischen den direkten als auch den indirekten Belastungen aufrechterhalten**. Mit anderen Worten, die Wirkung einer Emissionsverminderung muss ausgeglichen werden gegenüber der möglichen Änderung in der gesamten Energieeffizienz. Es gibt gegenwärtig keinen Mindestquotienten unter den Aspekten von Umweltvorteilen und dem möglichen Verlust an gesamter Energieeffizienz, den man als einen Bezugspunkt verwenden kann, um zu Techniken zu kommen, die als BVT angesehen werden können. Trotzdem kann dieses Konzept angewendet werden, um Alternativen zu vergleichen (Kapitel 3.2 und Anhang II).

4.2.1.2 Verminderung der Wärmeabgabe durch Optimierung interner/externer Abwärmenutzung

Ein vorbeugender Ansatz sollte am industriellen Prozess ansetzen, der die Ableitung von Wärme erfordert, und darauf abzielen, an erster Stelle die erforderliche Wärmeabfuhr zu vermindern. Tatsächlich verschwendet die Wärmeabfuhr Energie und entspricht als solche nicht den BVT. Die Wiederverwendung von Wärme innerhalb des Prozesses sollte immer ein erster Schritt bei der Bewertung von Kühlungserfordernissen sein. In den Prozess integrierte Energiemaßnahmen werden durch den Umfang dieses Dokuments nicht abgedeckt, aber es wird Bezug genommen auf andere BVT-Referenzdokumente, die im Rahmen von IVU-Richtlinie konzipiert wurden und Optionen für Energiemaßnahmen beschreiben.

In einer Situation **auf der grünen Wiese** kann die Bemessung der erforderlichen Kühlleistung nur dann BVT entsprechen, falls das Ergebnis aus der **maximalen Anwendung der intern und extern verfügbaren und anwendbaren Optionen** für die Wiederverwendung überschüssiger Wärme besteht.

In **einer bestehenden Anlage muss die Optimierung der internen und externen Wiederverwendung** und die Verminderung der Leistung und des Temperaturniveaus der abzuführenden Wärme vor jeder Veränderung der potentiellen Leistung des angewendeten Kühlsystems Vorrang haben. Die Steigerung der Effizienz eines bestehenden Kühlsystems durch die **Verbesserung des Systembetriebs** muss bewertet werden im Vergleich zu einer Steigerung der Effizienz durch technologische Maßnahmen, durch Umrüstung oder technologische Änderung. Im Allgemeinen und bei großen bestehenden Kühlsystemen wird die Verbesserung des Systembetriebs als kostengünstiger angesehen als die Anwendung von neuer oder verbesserter Technologie und kann deshalb als BVT betrachtet werden.

4.2.1.3 Kühlsysteme und Prozesserfordernisse

Sobald das Temperaturniveau und die Leistung der durch den Prozess erzeugten Abwärme festgestellt ist und keine weitere Verminderung der Abwärme erreichbar ist, kann angesichts der in Kapitel 1 besprochenen Prozesserfordernisse eine anfängliche Auswahl einer Kühlsystems getroffen werden. Jeder Prozess hat seine einzigartige Kombination von Erfordernissen, wobei der Aufwand zur Kontrolle des Prozesses, dessen Zuverlässigkeit und Sicherheit eine wichtige Rolle spielen. Auf dieser Stufe macht dies eine erste Charakterisierung der BVT fast unmöglich, aber die folgenden Schlüsse können hinsichtlich einer Reihe von Charakteristika des Prozesses gezogen werden.

Die Anwendung von Niveaus der Umgebungstemperatur beruht auf der Erfahrung in Europa mit der Anwendung von Kühlsystemen unter unterschiedlichen Klimabedingungen. Im Allgemeinen rechtfertigen die Trockenlufttemperaturen das (trockene)¹ Kühlen von Abwärme mit niedrigem Temperaturniveau nicht und die Wasserkühlung wird bevorzugt. Aber in Gebieten mit durchschnittlich niedrigen Trockenlufttemperaturen wird die Trockenluftkühlung angewendet, um den Prozess auf niedrigere Prozesstemperaturen abzukühlen (nachdem die Optionen für die Wärmeverwendung erforscht wurden). Falls genügend Wasser zur Verfügung steht, kann die Wasserkühlung dann die restliche Abwärme abführen.

Gefährliche Stoffe in Prozessen, die im Fall einer Leckage ein hohes Umweltrisiko für die aquatische Umgebung darstellen, sollten mittels Sekundärkühlsystemen gekühlt werden, um eine unkontrollierbare Situation zu vermeiden.

Die Wahl einer Kühlkonfiguration soll auf der Grundlage eines Vergleichs zwischen den durchführbaren Alternativen im Rahmen aller Erfordernisse des Prozesses erfolgen. Prozessanforderungen sind zum Beispiel die Kontrolle der chemischen Reaktionen, die Zuverlässigkeit der Prozessleistung und die Aufrechterhaltung des erforderlichen Sicherheitsniveaus. Das Ziel ist es, die indirekte Belastung der ausgewählten Alternative zu minimieren. Für jede Alternative können die ökologischen Leistungen am besten verglichen werden, wenn sie im direkten und indirekten Energieverbrauch (kW_e) pro abgeführte Energieeinheit (kW_{th}) aufgeführt sind. Eine andere Art des Vergleichs von Konfigurationen ist es, die Änderung im direkten Energieverbrauch (kW_e) des Kühlsystems und die Änderung der Effizienz des Prozesses in (metrischen) Tonnen aufzuführen und beide auf die Abwärmeleistung (kW_{th}) zu beziehen.

Eine Änderung in der Kühltechnologie zur Verminderung der Umweltbelastung kann nur dann als BVT angesehen werden, falls die Effizienz der Kühlung auf dem gleichen Niveau oder - sogar noch besser - auf einem erhöhten Niveau aufrechterhalten wird.

Tabelle 4.1: Beispiele der Prozessanforderungen und BVT

Prozess-Charakteristika	Kriterien	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkung	Referenz
Temperaturniveau der abgeführten Wärme hoch (> 60°C)	Anwendung von Wasser und Chemikalien vermindern und die gesamte Energieeffizienz erhöhen	Trockene (Vor-) Kühlung mit Luft	Die Energieeffizienz und die Größe des Kühlsystems sind begrenzende Faktoren	Abschnitt 1.1/1.3
Temperaturniveau der abgeführten Wärme mittel (25-60°C)	Die gesamte Energieeffizienz verbessern	Nicht offensichtlich	Standortspezifisch	Abschnitt 1.1/1.3
Temperaturniveau der abgeführten Wärme niedrig (<25°C)	Die gesamte Energieeffizienz verbessern	Wasserkühlung	Wahl des Standorts	Abschnitt 1.1/1.3
Temperaturniveau und Leistung niedrig und mittel	Optimale gesamte Energieeffizienz mit Wassereinsparung und sichtbarer Verminderung der Schwaden	Nass- und Hybrid-Kühlsystem	Trockenkühlung weniger geeignet wegen des Raumbedarfs und des Verlusts an gesamter Energieeffizienz	Abschnitt 1.4
Zu kühlende Gefahrstoffe bedingen hohes Umweltrisiko	Verminderung des Leckagerisikos	sekundärer Kühlkreislauf	Erhöhung des Kühlgrenzabstands akzeptieren	Abschnitt 1.4 und Anhang VI

¹ Anmerkung zu Übersetzung: Es wird vermutet, dass im Originaltext das Wort "trockene" fehlt.

4.2.1.4 Kühlsysteme und Standorterfordernisse

Die vom Standort auferlegten Begrenzungen betreffen besonders neue Anlagen, bei denen das Kühlsystem noch ausgewählt werden muss. Falls die erforderliche Abwärmeleistung bekannt ist, kann dies die Auswahl eines geeigneten Standorts beeinflussen. Bei temperaturempfindlichen Prozessen entspricht es der BVT, den Standort mit der erforderlichen Verfügbarkeit von Kühlwasser auszuwählen.

Aus vielen Gründen werden neue Anlagen nicht immer auf einem Standort errichtet, der unter dem Gesichtspunkt der Kühltechnologie vorzuziehen ist, während sowohl für neue als auch bestehende Anlagen die Charakteristika des Standorts klar sind, sobald der Standort bekannt ist. Das wichtigste thermodynamische Charakteristikum eines Standorts ist sein jährliches Klimamuster, das durch die Trocken- und Feuchttemperaturen beschrieben wird.

Tabelle 4.2: Beispiele der Charakteristika eines Standorts und BVT

Charakteristika des Standorts	Kriterien	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Klima	Erforderliche Auslegungstemperatur	Veränderung in Feucht- und Trocken-temperatur bewerten	Bei hohen Trockentemperaturen hat die Trockenkühlung generell niedrigere Energieeffizienz	Abschnitt 1.4.3
Raum	Begrenzte Oberfläche am Standort	(Vormontierte) Dachkonstruktionen	Beschränkungen für Größe und Gewicht des Kühlsystems	Abschnitt 1.4.2
Verfügbarkeit von Oberflächenwasser	Beschränkte Verfügbarkeit	Rezirkulationssysteme	Nass-, Trocken- oder Hybridkühlung durchführbar	Abschnitt 2.3 und 3.3
Empfindlichkeit des aufnehmenden Gewässers gegen thermische Belastungen	Begrenzung der Abwärmeleistung, um die thermische Belastung verträglich zu machen	<ul style="list-style-type: none"> - Umfang der Wiederverwendung von Wärme optimieren - Rezirkulationssysteme einsetzen - Standortauswahl (neues Kühlsystem) 		Abschnitt 1.1
Begrenzte Verfügbarkeit von Grundwasser	Minimierung der Nutzung von Grundwasser	Luftkühlung, falls keine adequate alternative Wasserquelle verfügbar ist	Ungünstigen Einfluss auf die Energie akzeptieren	Abschnitt 3.3
Küstengebiet	Große Kapazität $> 10 \text{ MW}_{\text{th}}$	Durchlaufsysteme	Vermischen der lokalen thermischen Schwaden nahe am Einlaufpunkt vermeiden, z.B. durch Tiefwasserentnahme unterhalb der Mischzone unter Verwendung der Temperaturschichtung	Abschnitt 1.2.1 / Abschnitt 3.2 / Anhang XI.3
Spezifische Standorterfordernisse	Im Fall der Verpflichtung zur Schwadenverminderung und verminderter Turmhöhe	Hybrid-Kühlsystem anwenden	Ungünstigen Einfluss auf die Energie akzeptieren	Kap..2

Sonstige festgestellte Charakteristika sind Raum, Verfügbarkeit von Wasser zum Kühlen und Möglichkeit zum Ableiten und die Nähe von sensitiven Gebieten (städtisch und industriell). Mit Bezug auf Grundwasser kann es der BVT entsprechen, ein Trockenkühlsystem einzusetzen, um prinzipiell die Nutzung von Grundwasser zu minimieren, besonders in den Gebieten, in denen die Erschöpfung von wasserführenden Schichten nicht ausgeschlossen werden kann.

In Tabelle 4.2 werden BVT-Beispiele gezeigt, die für einige Charakteristika von Standorten festgestellt wurden.

4.2.2 Anwendung von BVT bei industriellen Kühlsystemen

In Kapitel 1 wird die Übersicht über einen vorbeugenden Ansatz vorgelegt, der zeigt, wie eine schrittweise Bewertung aller Beschränkungen zu etwas führen kann, das "Beste Verfügbare Kühltechnik" genannt werden könnte. Im Rahmen dieses Ansatzes besprechen Kapitel 1 und Kapitel 3 und die dazugehörigen Anhänge die Faktoren und bieten Techniken im Zusammenhang mit der Feststellung der potentiellen BVT für die größeren Kühlkonfigurationen, die Wasser und/oder Luft anwenden. Die Optimierung eines Kühlsystems zur Verminderung der Umweltbelastung ist eine komplizierte Übung und nicht ein exakter mathematischer Vergleich. Mit anderen Worten, die Kombination von Techniken, die aus BVT-Tabellen ausgewählt wurden, führt nicht zu einem BVT-Kühlsystem. Die **endgültige BVT-Lösung** wird eine **standortspezifische Lösung** sein. Auf der Grundlage der Erfahrung in der Industrie glaubt man jedoch, dass man auf der Basis von BVT Schlussfolgerungen ziehen kann, nach Möglichkeit in quantifizierten Fachbegriffen.

In Kapitel 3 wurden Optionen auf der Grundlage der von der Technischen Arbeitsgruppe abgegebenen Informationen für die Verminderung von Emissionen in die Umgebung vorgelegt. Für jedes Umweltthema und für jede relevante Kühlkonfiguration wurde ein Versuch unternommen, einen allgemeinen Ansatz festzustellen und BVT zu erreichen. Einige Techniken wurden detaillierter in den Anhängen beschrieben. Die Betonung liegt klar auf den Problemen in Bezug auf Wasser mit einem Schwerpunkt auf der Verminderung der Anwendung von Bioziden und Stoffen, die auf der schwarzen Liste stehen.

Die vorgeschlagenen Techniken sind angewendete Techniken. Sie haben sich als wirkungsvoll erwiesen, obwohl die Quantifizierung schwierig ist und sie unrealistische Erwartungen auslösen können. Man kann annehmen, dass alle als BVT empfohlenen Maßnahmen und die nicht völlig von der örtlichen Situation abhängig sind, für die neuen Systeme in Betracht gezogen werden können. Im Hinblick auf bestehende Anlagen muss man Vorsicht walten lassen, da die Auswertung dort schwieriger ist, wo die Optionen begrenzt und von einer Vielzahl von (Prozess-) Faktoren abhängig sind. Es scheint nicht zu viele Hindernisse für die Umsetzung von betrieblichen Maßnahmen in bestehenden Kühlsystemen zu geben, es sei denn, die technologische Auslegung begrenzt die Anzahl der Optionen für die Modifikation.

In den Tabellen 4.3 bis 4.12 werden Techniken vorgelegt, die als BVT angesehen werden, sie folgen auf den primären BVT-Ansatz für die:

- Erhöhung der gesamten Energieeffizienz,
- Verminderung der Anwendung von Wasser und Kühlwasserzusätzen,
- Verminderung von Emissionen in Luft und Wasser,
- Verminderung von Lärm,
- Verminderung des Einsaugens von im Wasser lebenden Organismen und die,
- Verminderung von biologischen Risiken.

Es wurden keine klaren BVT festgestellt für die Verminderung von Abfall oder Techniken zur Behandlung von Abfällen unter Vermeidung von Umweltproblemen wie zum Beispiel die Verschmutzung von Erdreich und Wasser oder Luft im Fall der Verbrennung.

Für jedes Umweltthema wurden die Konsequenzen für andere Anwendungsmedien für eine Verminderungstechnik festgestellt. Allgemein gesagt muss jede an einem Kühlsystem durchgeführte Änderung sorgfältig abgewogen werden gegenüber den damit verbundenen Wirkungen und in diesem Sinn ist die Optimierung der industriellen Kühlung ein die Medien übergreifendes Thema.

Für einige Maßnahmen wurden BVT-Werte festgestellt. Wenn man jedoch die Anwendung verschiedener Kühltechniken in einer Vielzahl von sich ändernden Prozessbedingungen anspricht, führt dies nicht zu klaren damit verbundenen Niveaus. In diesen Fällen wird eine qualitative Beschreibung abgegeben.

Bei **neuen Kühlanlagen** entspricht es den BVT, mit der Feststellung der Maßnahmen zur Verminderung in der Auslegungsphase zu beginnen, Ausrüstungen mit geringen Energieanforderungen anzuwenden und das geeignete Material für die Ausrüstung zu auswählen, die in Kontakt mit dem Prozess-Stoff und/oder dem Kühlwasser steht. In diesem Sinn ist das folgende Zitat beispielhaft: “in der Praxis ... wecken Entwurf, Auslegung und Instandhaltung des Kühlwassersystems weit weniger Aufmerksamkeit als die Folgen für die Umwelt durch ein schlecht ausgelegtes und/oder betriebenes Kühlwassersystem. Da den Auslegungsfaktoren wenig Aufmerksamkeit gewidmet wird, müssen Behandlungsmassnahmen oft einen Ausgleich für die schlechte Auslegung schaffen und sie müssen deshalb so ausgewählt werden, dass sie die Risiken der Verschmutzung minimieren. Wenig Änderungen an dieser Einstellung sind zu erwarten, solange es ein so niedriges Niveau des Bewusstseins für die langfristigen Kosten für den Betrieb und die Wartung von schlecht ausgelegten KWS gibt“ [tm005, Van Donk and Jenner, 1996].

Falls Trockenkühlssysteme die bevorzugte Option sind, beziehen sich die Maßnahmen primär auf die Verminderung des direkten Energieverbrauchs, der Lärmemissionen und der Optimierung der Größe im Hinblick auf die erforderliche Kühlfläche.

Bei **bestehenden Anlagen** können die technologischen Maßnahmen unter gewissen Umständen den BVT entsprechen. Im Allgemeinen ist eine Änderung der Technologie dort kostspielig, wo die Gesamteffizienz aufrechterhalten werden muss. Die Auswertung der Kosten sollte dann die Investitionskosten der Änderung mit der Änderung in den Betriebskosten vergleichen und den Verminderungseffekt gegenüber den anderen Folgen für die Umwelt überprüfen. Es würde zum Beispiel einen Vergleich erfordern zwischen der Auswirkung auf die Umwelt durch rezirkulierendes Kühlwasser – es bedarf der Anwendung der biozidalen Wasserbehandlung – und dem Durchlaufsystem ohne Biozide, aber mit einer starken Wärmeemission auf die aquatische Umgebung.

Im Fall von vormontierten Kühltürmen “von der Stange” scheint eine Änderung der Technologie sowohl technisch als auch wirtschaftlich durchführbar zu sein. Es wurden keine vergleichbaren Daten vorgelegt, die dies unterstützen können, aber es ist eine Erfahrung der Lieferanten, dass es relativ einfach ist, Kühltürme von kleinerer Größe zu verändern, zum Beispiel von einer geschlossenen rezirkulierenden Nass- in eine geschlossene rezirkulierende Hybrid- oder Nass-/Trockenkonfiguration. Dies würde keine größeren Prozessmodifikationen oder Bauarbeiten erfordern.

Bei großen, nach Maß ausgelegten Türmen, die vor Ort errichtet werden, sind technologische Änderungen nicht leicht auszuführen. Im Allgemeinen bedeutet eine unterschiedliche Technologie einen völlig neuen Kühlturm.

Bei bestehenden Nasskühlssystemen, bei denen sich die Maßnahmen zum Umweltschutz weitergehend darauf konzentrieren, den Wasserverbrauch und die Emissionen von Chemikalien in die Oberflächengewässer zu vermindern, haben die BVT ihren Schwerpunkt weniger in der Anlagentechnik sondern im Betrieb. Überwachung, Betrieb und Instandhaltung sind hier die Schlüsselthemen.

4.3 Verminderung des Energieverbrauchs

4.3.1 Allgemeines

In der Auslegungsphase eines Kühlsystems entspricht es den BVT:

- den Widerstand gegen den Wasser- und Luftdurchsatz zu vermindern,
- Ausrüstung mit hoher Effizienz/niedrigem Energiebedarf anzuwenden,
- den Umfang der Ausrüstung mit hohem Energiebedarf zu vermindern (Anhang XI 8.1)
- in Durchlaufsystemen und Nasskühltürmen optimierte Kühlwasserbehandlungsmassnahmen anzuwenden, um die Oberflächen sauber zu halten und Verkrustung, Verschmutzung und Korrosion zu vermeiden.

In jedem einzelnen Fall sollte eine Kombination der oben erwähnten Faktoren zum niedrigsten erreichbaren Energieverbrauch für den Betrieb eines Kühlsystems führen. Im Hinblick auf BVT wurde eine Anzahl von Techniken/Ansätzen festgestellt.

4.3.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Bei einem integrierten Ansatz zur Kühlung eines industriellen Prozesses werden sowohl der direkte als auch der indirekte Energieverbrauch in Betracht gezogen. Im Rahmen der allgemeinen Energieeffizienz einer Anlage entspricht die Anwendung eines Durchlaufsystems den BVT, besonders für Prozesse, die hohe Kühlleistungen erfordern (z.B. > 10 MW_{th}). Im Fall von Flüssen und/oder Flussmündungen können Durchlaufsysteme akzeptabel sein, falls auch:

- die Ausweitung der Wärmeschwaden im Oberflächengewässer einen Durchlass für die Fischwanderung frei lässt;
- der Kühlwassereinlass auf vermindertes Einsaugen von Fischen ausgelegt ist;
- die Wärmebelastung nicht die anderen Anwender des aufnehmenden Oberflächengewässers beeinträchtigt.

Falls für Kraftwerke der Durchlauf nicht möglich ist, sind Naturzug-Nasskühltürme weit stärker energieeffizient als andere Kühlkonfigurationen, aber die Anwendung kann wegen der visuellen Wirkung ihrer Gesamthöhe eingeschränkt werden.

Tabelle 4.3: BVT für die Erhöhung der gesamten Energieeffizienz

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Bemerkungen	Referenz
Große Kühlkapazität	Gesamte Energieeffizienz	Standort für Durchlaufoption auswählen	Siehe Text oberhalb der Tabelle	Abschnitt 3.2
Alle Systeme	Gesamte Energieeffizienz	Option für variablen Betrieb anwenden	Erforderlichen Kühlbereich feststellen	Abschnitt 1.4
Alle Systeme	Variabler Betrieb	Modulation des Luft-/Wasserflusses	Instabilitätskavitation im System vermeiden (Korrosion und Erosion)	
Alle Nass-Systeme	Saubere Oberflächen von Wärmetauschern / Leitungen	Optimierte Wasserbehandlung und Bearbeitung der Rohrflächen	Erfordert adäquate Überwachung	Abschnitt 3.4
Durchlaufsysteme	Kühlungseffizienz aufrechterhalten	Rezirkulation von Warmwasserschwaden in Flüssen vermeiden und in Flussmündungen und an Küstenstandorten minimieren		Anhang XII
Alle Kühltürme	Spezifischen Energieverbrauch vermindern	Pumpköpfe und Ventilatoren mit vermindertem Energieverbrauch anwenden		

4.4 Verminderung des Wasserbedarfs

4.4.1 Allgemeines

Für neue Systeme können die folgenden Aussagen gemacht werden:

- Im Licht der gesamten Energiebilanz ist die Kühlung mit Wasser am effizientesten.
- Für neue Anlagen sollte ein Standort nach der Verfügbarkeit von ausreichenden Mengen von (Oberflächen-) Wasser ausgewählt werden, falls ein hoher Kühlwasserbedarf vorliegt.
- Der Kühlbedarf sollte durch die Optimierung der Wiederverwendung von Wärme reduziert werden.
- Für neue Anlagen sollte ein Standort nach der Verfügbarkeit eines adequaten Aufnahmegewässers ausgewählt werden, besonders im Falle von großen Kühlwasserableitungen.
- Wo die Verfügbarkeit von Wasser begrenzt ist, sollte eine Technologie gewählt werden, die verschiedene Betriebsarten ermöglicht und jederzeit weniger Wasser benötigt, um die erforderliche Kühlleistung zu erreichen.
- In allen Fällen ist die Rezirkulation eine Option, aber dies erfordert einen sorgfältigen Ausgleich mit anderen Faktoren, zum Beispiel mit der erforderlichen Wasserbehandlung und einer niedrigeren gesamten Energieeffizienz.

Bei bestehenden Wasserkühlssystemen kann die Erhöhung der Wiederverwendung von Wärme und die Verbesserung des Systembetriebs die erforderliche Menge an Kühlwasser vermindern. Im Fall von Flüssen mit begrenzter Verfügbarkeit von Oberflächenwasser ist der Übergang von einem Durchlaufsystem zu einem rezirkulierenden Kühlsystem eine technologische Option und kann als BVT angesehen werden.

Bei Kraftwerken mit hohen Kühlleistungen wird dies im Allgemeinen als eine kostenintensive Übung angesehen, die einen Neubau erforderlich macht. Raumerfordernisse müssen berücksichtigt werden.

4.4.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.4: BVT für die Verminderung von Wassererfordernissen

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Ref.
Alle Nasskühl-systeme	Verminderung des Kühlungsbedarfs	Optimierung der Wiederverwendung von Wärme		Kap.1
	Verminderung der Nutzung von beschränkten Wasservorkommen	Die Anwendung von Grundwasser entspricht nicht BVT	Ortsspezifisch besonders bei bestehenden Systemen	Kap.2
	Verminderung des Wasserverbrauchs	Rezirkulierende Systeme anwenden	Verschiedene Anforderungen an Wasserbehandlung	Kap..2/3.3
	Verminderung des Wasserverbrauchs bei Verpflichtung zur Schwadenverminderung und verminderte Turmhöhe	Hybrid-Kühlsystem anwenden	Ungünstigen Einfluss auf die Energie akzeptieren	Kap.2.6/ 3.3.1.2
	Wo Wasser (Zusatzwasser) während (eines Teils) des Prozesses nicht verfügbar oder nur sehr begrenzt ist (von Dürre heimgesuchte Gebiete)	Trockenkühlung anwenden	Ungünstigen Einfluss auf die Energie akzeptieren	Abschnitt 3.2 und 3.3 Anhang XII.6
Alle rezirkulierenden Nass- und Nass-/Trocken-systeme	Verminderung des Wasserverbrauchs	Optimierung der Konzentrationszyklen	Erhöhter Bedarf an Wasserbehandlung, z.B. Anwendung von enthärtetem Zusatzwasser	Abschnitt 3.2 und Anhang XI

Bei einer Anzahl von Gelegenheiten wurde die Anwendung von Trockenkühlung vorgeschlagen. Falls man die gesamte Energieeffizienz in Betracht zieht, ist die Trockenkühlung weniger attraktiv als die Nasskühlung. Damit wird die Trockentechnologie nicht disqualifiziert. Für Zeiträume mit kürzerer Lebensdauer wurde ausgerechnet, dass die Unterschiede in den Kosten zwischen trocken und nass geringer werden als für Zeiträume mit längerer Lebensdauer. Wenn man die Kosten für Wasser und Wasserbehandlung in Betracht zieht, werden die Unterschiede auch geringer. Unter gewissen Umständen kann die Trockenkühlung empfohlen werden und auch für die Vorkühlung bei höheren Temperaturniveaus, wo übermäßig Wasser benötigt würde.

4.5 Verminderung des Einsaugens von Organismen

4.5.1 Allgemeines

Die Anpassung der Wassereinlaufvorrichtungen zur Verminderung des Einsaugens von Fischen und sonstigen Organismen ist sehr kompliziert und standortspezifisch. Änderungen an einem bestehenden Wassereinlauf sind möglich, aber kostspielig. Aus den angewendeten oder untersuchten Technologien zum Schutz oder Abweisen von Fischen können keine besonderen Techniken als BVT erkannt werden. Die örtliche Situation wird entscheiden, welche Techniken zum Schutz oder Abweisen von Fischen den BVT entsprechen. Einige allgemein bei der Auslegung und der Lage des Einlaufs angewendete Strategien können als BVT angesehen werden, aber dies gilt besonders für neue Systeme.

Bei der Anwendung von Sieben sollte beachtet werden, dass die Kosten der Entsorgung des anfallenden organischen Abfalls, der von den Sieben gesammelt wird, beträchtlich sein können.

4.5.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.5: BVT für die Verminderung des Einsaugens

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Ref.
Alle Durchlaufsysteme oder Kühlsysteme mit Einläufen von Oberflächenwasser	Geeignete Position und Auslegung des Einlaufs und Auswahl der Schutztechnik	Analyse des Biotops in der Oberflächenwasserquelle	Auch kritische Bereiche wie Laichgründe, Wanderungsgebiete und Fischzucht	Abschn. 3.3.3 und Anhang XII.3.3
	Konstruktion der Einlaufkanäle	Wassergeschwindigkeiten in den Einlaufkanälen optimieren; auf das jahreszeitliche Auftreten von Makroverschmutzung achten.		Abschn. 3.3.3

4.6 Verminderung von Emissionen in das Wasser

4.6.1 Allgemeiner BVT-Ansatz zur Verminderung von Wärmeemissionen

Es hängt stark von den örtlichen Bedingungen ab, ob Wärmeemissionen in das Oberflächengewässer Auswirkungen auf die Umwelt haben. Derartige Standortbedingungen wurden beschrieben, führen jedoch unter allgemeinen Aspekten zu keiner Schlussfolgerung im Hinblick auf BVT.

Wo in der Praxis Begrenzungen der Wärmeabgabe angebracht waren, bot sich als Lösung der Wechsel von der Durchlauftechnologie zur offenen rezirkulierenden Kühlung (offener Nasskühlturm) an. Nach den verfügbaren Informationen und unter Berücksichtigung aller möglichen Aspekte muss man bei der Schlussfolgerung, dies könne als BVT qualifiziert werden, vorsichtig sein. Es wäre notwendig, die Zunahme des ungünstigen

Einflusses auf die allgemeine Energieeffizienz bei der Anwendung eines Nasskühlturms (Kapitel 3.2) abzuwägen gegenüber der Wirkung der verminderten Umweltbelastung durch die verminderte Wärmeableitung. Bei einer voll integrierten Bewertung auf dem Niveau eines Flusseinzugsgebiets könnte dies zum Beispiel die erhöhten gesamten Effizienzniveaus anderer Prozesse umfassen, die die gleiche, aber jetzt kältere Wasserquelle benutzen. Diese wird verfügbar, weil es nicht länger eine umfangreiche Ableitung von Warmwasser in diese Quelle gibt.

Wo die Maßnahmen allgemein darauf abzielen, die ΔT des abgeleiteten Kühlwassers zu vermindern, können einige Schlussfolgerungen im Hinblick auf BVT gezogen werden. Die Vorkühlung (Anhang XII) wurde für große Kraftwerke angewendet, wo dies die spezifische Situation verlangt, z.B. um eine erhöhte Temperatur des Einlaufwassers zu vermeiden.

Die Ableitungen müssen begrenzt werden mit Bezug auf die Einschränkung der Anforderungen der Richtlinie 78/659/EWG für Süßwasserquellen. Die Kriterien sind zusammengefasst in Tabelle 3.6. Es wird Bezug genommen auf die Vorschriften in Artikel 11 dieser Richtlinie hinsichtlich der Ausnahmenregelungen bei den Anforderungen unter gewissen Umständen.

4.6.2 Allgemeiner BVT-Ansatz zur Verminderung chemischer Emissionen in das Wasser

Die Verhütung und Kontrolle von chemischen Emissionen aus den Kühlsystemen hat in der Politik und der Industrie der Mitgliedstaaten die höchste Aufmerksamkeit erregt. Neben der Wärmeableitung hält man sie noch immer für das wichtigste Thema in der Kühlung.

Im Hinblick auf die Aussage, dass über 80% der Umweltbelastung am Tisch der Auslegung entschieden wird, sollten in der Auslegungsphase des Nasskühlsystems Maßnahmen in der folgenden Reihenfolge des Ansatzes ergriffen werden:

- die Prozessbedingungen feststellen (Druck, T, Korrosionsverhalten des Stoffes),
- die charakteristischen chemischen Merkmale der Kühlwasserquelle feststellen,
- das geeignete Material für den Wärmetauscher auswählen, dabei sowohl die Prozessbedingungen als auch die Merkmale des Kühlwassers verbinden,
- das geeignete Material für andere Teile des Kühlsystems auswählen,
- die betrieblichen Anforderungen des Kühlsystems feststellen,
- die durchführbare Behandlung des Kühlwassers (chemische Zusammensetzung) auswählen, dabei weniger gefährliche Chemikalien anwenden oder solche, die ein niedrigeres Potential für Umweltbelastungen aufweisen (Abschnitt 3.4.5, Anlage VI und VIII),
- das Biozid-Auswahlschema anwenden (Kapitel 3, Abbildung 3.2) und
- durch die Überwachung des Kühlwassers und der Systembedingungen die Dosierungsmethode optimieren.

Dieser Ansatz beabsichtigt an erster Stelle, die Notwendigkeit der Kühlwasserbehandlung zu vermindern. Bei bestehenden Systemen sind technologische Änderungen oder Änderungen an der Ausrüstung schwierig und generell kostspielig. Der Schwerpunkt sollte auf dem Betrieb der Systeme mit einer Überwachung liegen, die mit einer optimierten Dosierung verknüpft ist. Es wurden einige Beispiele von Techniken mit guter Leistung festgestellt. Sie sind generell für gewisse Systemkategorien anwendbar, sie werden als kostengünstig angesehen und erfordern keine großen Änderungen an der Kühlanlage.

Nach der Verminderung der Anfälligkeit des Kühlsystems gegenüber Verschmutzung und Korrosion kann eine Behandlung noch erforderlich sein, um einen wirksamen Wärmetausch aufrechtzuerhalten. Die Auswahl von Kühlwasserzusätzen, die weniger schädlich für die aquatische Umgebung sind und ihre Anwendung auf die wirkungsvollste Weise sind dann der nächste Schritt.

Im Hinblick auf die Auswahl der Chemikalien kam man zu der Schlussfolgerung, dass es schwierig, wenn nicht sogar unmöglich ist, auf allgemeine Weise eine Rangfolge der Behandlungsverfahren und der Chemikalien aufzustellen, aus denen sie bestehen und es wäre unwahrscheinlich, dass dies zu BVT-Schlussfolgerungen

führen würde. Wegen der starken Abweichungen in den Bedingungen und Behandlungsverfahren wird nur eine Bewertung von Standort zu Standort zu einer geeigneten Lösung führen.

Eine derartige Bewertung und ihre Bestandteile könnte einen Ansatz darstellen, der als BVT angesehen werden kann.

Dieser Ansatz wird in diesem BVT-Referenzdokument geboten und besteht aus einem Werkzeug, das Hilfestellung geben kann bei einer ersten Einordnung der ausgewählten Chemikalien und eines Ansatzes zur Bewertung von Bioziden, Verknüpfung der Anforderungen des Kühlsystems mit den Anforderungen des aufnehmenden aquatischen Ökosystems (Anhang VIII). Der Ansatz zielt ab auf die Minimierung der Auswirkung der Kühlwasserzusätze und besonders der Biozide. Die Biozid-Richtlinie 98/8/EU (BPD) und die Wasserrahmenrichtlinie (WFD) sind die wichtigsten Bausteine für diesen Ansatz. Es ist unbedingt erforderlich, PEC- und PNEC-Werte für die verschiedenen Stoffe zu verwenden, wobei das PEC/PNEC-Verhältnis als ein Maßstab für die Feststellung von BVT dienen könnte.

Über die Anwendung von spezifischen Stoffen wurden viele Erfahrungen gesammelt in Durchlaufsystemen mit Bestandteilen auf der Basis von Chlor (besonders Hypochlorit, Chloramin) und Chlor-Brom-Kombinationen ebenso wie mit der Anwendung von verminderten Konzentrationsniveaus.

Das Gleiche gilt für die Anwendung von Bioziden für die Behandlung von rezirkulierenden Systemen. Die Behandlungen dieser Systeme bestehen oft aus mehreren Substanzen. Es ist klar, dass einige Bestandteile oder Substanzen nicht als BVT festgestellt werden können oder sie sollten überhaupt nicht angewendet werden. Ein genereller Ansatz, das geeignete Biozid auszuwählen, wird örtliche Aspekte umfassen, z.B. Zielsetzungen für die Wasserqualität des aufnehmenden Oberflächengewässers.

4.6.3 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

4.6.3.1 Vermeidung durch Bauweise und Instandhaltung

Tabelle 4.6: BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch Auslegungs- und Instandhaltungstechniken

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Alle Nasskühl-systeme	Weniger korrosions-empfindliches Material anwenden	Analyse der Korrosivität des ProzessStoffs ebenso wie des Kühlwassers, um das richtige Material auszuwählen		Kap. 3.4
	Verminderung der Verschmutzung und Korrosion	Das Kühlsystem so auslegen, dass stehende Bereiche vermieden werden		Anhang XI.3.3.2.1
Gehäuse- & Rohrwärme-tauscher	Für erleichterte Reinigung auslegen	Kühlwasserstrom innerhalb des Rohrs und zur starken Verschmutzung neigende Medien an der Rohrinne-seite	Abhängig von Auslegung, Prozess-T und Druck	Anhang III.1
Kondensatoren von Kraftwerken	Korrosions-anfälligkeit vermindern	Anwendung von Titan in Kondensatoren, die Salz- oder Brackwasser benutzen		Anhang XII
	Korrosions-anfälligkeit vermindern	Anwendung von korrosionsbeständigen Legierungen (rostfreier Stahl mit hohem Lochfraß-Index oder Kupfer Nickel)	Wechsel zu Legierungen mit niedriger Korrosion kann zur Bildung von Erregern führen	Anhang XII.5.1
	Mechanische Reinigung	Anwendung von automatisierten Reinigungssystemen mit Schaumbällen oder Bürsten	Zusätzlich kann mechanische Reinigung und Hochdruckreinigung notwendig sein	Anhang XII.5.1
Kondensatoren und Wärmetauscher	Sedimentierung (Verschmutzung) in Kondensatoren vermindern	Wassergeschwindigkeit > 1,8 m/s für neue Ausrüstung und 1,5 m/s bei Rohrbündel-Umrüstung	Abhängig von Korrosionsanfälligkeit v. Material, Wasserqualität & Oberflächenbehandlung	Anhang XII.5.1
	Sedimentierung (Verschmutzung) in Wärmetauschern vermindern	Wassergeschwindigkeit > 0,8 m/s	Abhängig von Korrosionsanfälligkeit von Material, Wasserqualität & Oberflächenbehandlung	Anhang XII.3.2
	Verstopfung vermeiden	Schmutzfilter zum Schutz der Wärmetauscher anwenden, wo Verstopfung ein Risiko ist		Anhang XII

Tabelle 4.6 (Fortsetzung): BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch Auslegungs- und Instandhaltungstechniken

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Durchlauf-Kühlystem	Anfälligkeit für Korrosion vermindern	Unlegierten Stahl im Kühlwasser anwenden, wenn die Korrosions-toleranzen erfüllt werden können	Nicht für Brackwasser geeignet	Anhang IV.1
	Anfälligkeit für Korrosion vermindern	Im Fall von unterirdischen Rohrleitungen glasfaserverstärkte Kunststoffe, beschichteten Stahlbeton oder beschichteten unlegierten Stahl verwenden		Anhang IV.2
	Anfälligkeit für Korrosion vermindern	Für Rohre von Gehäuse- und Rohrwärmetauschern in einer hoch korrosiven Umgebung Titan oder rostfreien Stahl hoher Qualität mit ähnlicher Leistung anwenden	Titan nicht in einem reduzierenden Medium einsetzen, optimierte Biobewuchskontrolle kann erforderlich sein	Anhang IV.2
Offene Nasskühltürme	Verschmutzung unter Salzwasser-bedingung vermindern	Kühleinbau anwenden, der offen ist; niedrige Verschmutzung mit hoher Lastunterstützung		Anhang IV.4
	Gefahrstoffe in der Antiverschmutzungs-behandlung vermeiden	CCA Behandlung von Holzteilen oder Anstrich-farben, die TBTO enthalten, sind <u>nicht BVT</u>		Abschnitt 3.4 Anhang IV.4
Naturzug-Nasskühltürme	Antiverschmutzungs-behandlung vermindern	Kühleinbau unter Berücksichtigung örtlicher Wasserqualität anwenden (z.B. hoher Feststoffgehalt, Kesselstein)		Anhang XII.8.3

4.6.3.2 Steuerung durch optimierte Kühlwasserbehandlung

Tabelle 4.7: BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch optimierte Kühlwasserbehandlung

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Alle Nass-Systeme	Die Anwendung von Zusätzen vermindern	Überwachung und Steuerung der Kühlwasserchemie		Abschnitt 3.4 und Anhang XI.7.3
	Anwendung von weniger gefährlichen Chemikalien	Es entspricht <u>nicht BVT</u> <ul style="list-style-type: none"> • Chromverbindungen • Quecksilberverbindungen. • organometallische Verbindungen (z.B. Organozinnverbindg.) • Mercaptobenzothiazol • Schockbehandlungen mit bioziden Stoffen mit Ausnahme von Chlor, Brom, Ozon und H₂O₂ anzuwenden 		Abschnitt 3.4/ Anhang VI
Durchlaufkühl-systeme und offene Nasskühltürme	Gezielte Bioziddosierung	Makroverschmutzung überwachen, um Bioziddosierung zu optimieren		Anhang XI.3.3.1.1
Durchlaufkühl-systeme	Anwendung von Bioziden begrenzen	Keine Anwendung von Bioziden bei Salzwassertemperaturen unter 10-12°C	In einigen Gebieten kann eine Behandlung im Winter nötig sein (Häfen)	Anhang V
	Verminderung der FO-Emission	Veränderung der Verweilzeiten und Wassergeschwindigkeiten mit einer zugehörigen FO oder FRO-Konzentration von 0,1 mg/l am Ablauf	Für Kondensatoren nicht anwendbar	Kap.3.4 Anhang XI.3.3.2
	Emissionen von freiem (Rest-) Oxidans	FO oder FRO $\leq 0,2$ mg/l am Ablauf für die kontinuierliche Chlorung von Salzwasser	Täglicher (24 h) Durchschnittswert	Anhang XI.3.3.2
	Emissionen von freiem (Rest-) Oxidans	FO oder FRO $\leq 0,2$ mg/l am Ablauf für intermittierende und Schockchlorung von Salzwasser	Täglicher (24 h) Durchschnittswert	Anhang XI.3.3.2
	Emissionen von freiem (Rest-) Oxidans	FO oder FRO $\leq 0,5$ mg/l am Ablauf für intermittierende und Schockchlorung von Salzwasser	Stündlicher Durchschnittswert innerhalb eines Tages für die Prozess-Steuerung angewendet	Anhang XI.3.3.2
	Menge der OX-bildenden Verbindungen im Süßwasser vermindern	Kontinuierliche Chlorung von Süßwasser entspricht <u>nicht BVT</u>		

Tabelle 4.7 fortgesetzt: BVT für die Verminderung von Emissionen in das Wasser durch optimierte Kühlwasserbehandlung

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Offene Nasskühltürme	Die Menge an Hypochlorit vermindern	Das Kühlwasser mit $7 \leq \text{pH} \leq 9$ betreiben		Anhang XI
	Die Menge an Biozid und Abflutung vermindern	Die Anwendung der Seitenstrom-Biofiltration ist BVT		Anhang XI.3.1.1
	Die Emission schnell hydrolysierender Biozide vermindern	Nach der Dosierung die Abflutung vorübergehend schließen		Abschnitt 3.4
	Anwendung von Ozon	Behandlungskonzentrationen von $\leq 0,1 \text{ mg O}_3/\text{l}$	Bewertung der Gesamtkosten gegenüber der Anwendung anderer Biozide	Abschnitt XI.3.4.1

4.7 Verminderung von Emissionen in die Luft

4.7.1 Allgemeiner Ansatz

Mit Ausnahme der Wirkung der Schwadenbildung haben die Emissionen von Kühltürmen in die Luft vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit erregt. Aus einigen berichteten Daten kann geschlossen werden, dass die Emissionen generell niedrig sind, aber diese Emissionen sollten nicht vernachlässigt werden.

Das Absenken der Konzentrationen im zirkulierenden Kühlwasser wird offensichtlich die potentiellen Emissionen von Stoffen in die Schwaden beeinflussen. Es können einige generelle Empfehlungen abgegeben werden, die einen BVT-Charakter haben.

4.7.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.8: BVT für die Verminderung von Emissionen in die Luft

Relevanz	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Alle Nasskühltürme	Vermeiden, dass die Schwaden Bodenhöhe erreichen	Schwadenemission in ausreichender Höhe und mit einem Minimum an Luftableitungsgeschwindigkeit am Turmaustritt		Kapitel 3.5.3
	Schwadenbildung vermeiden	Anwendung der Hybridtechnik oder anderer die Schwaden unterdrückenden Techniken, z.B. Wiedererwärmen der Luft	Bedarf lokaler Bewertung (städtische Gebiete, Verkehr)	Kapitel 3.5.3
Alle Nasskühltürme	Anwendung von weniger gefährlichem Material	Anwendung von Asbest sowie mit CCA (oder Ähnlichem) oder TBTO imprägniertem Holz entspricht <u>nicht BVT</u>		Kapitel 3.8.3
	Beeinträchtigung der Qualität der Innenluft vermeiden	Auslegung und Positionierung des Turmaustritts zur Vermeidung des Risikos der Luftaufnahme durch Klimaanlageanlagen	Wird als weniger wichtig für große Naturzug-KT mit beträchtlicher Höhe angesehen	Abschnitt 3.5
Alle Nasskühltürme	Verminderung des Sprühverlusts	Tropfenabscheider mit Reduzierung des Verlustes auf <0,01% des gesamten rezirkulierenden Durchflusses anwenden	Geringer Widerstand zur Luftströmung ist aufrecht zuerhalten	Abschnitt 3.5 und Anhang XI.5.1

4.8 Verminderung von Lärmemissionen

4.8.1 Allgemeines

Lärmemissionen haben örtliche Wirkung. Die Lärmemissionen von Kühlanlagen sind Teil der gesamten Lärmemissionen vom Standort. Eine Anzahl von primären und sekundären Maßnahmen wurden festgestellt, die zum Vermindern der Lärmemissionen angewendet werden können, wo dies erforderlich ist. Die primären Maßnahmen ändern den Schall-Leistungspegel der Quelle, wo die sekundären Maßnahmen den emittierten Lärm vermindern. Die sekundären Maßnahmen führen im Besonderen zu Druckverlust, der durch zusätzliche Energiezufuhr ausgeglichen werden muss. Dies vermindert die gesamte Energieeffizienz des Kühlsystems. Die endgültige Wahl für eine Lärmbekämpfungstechnik ist eine individuelle Angelegenheit ebenso wie der sich daraus ergebende, zugehörige Leistungspegel. Die folgenden Maßnahmen und die minimalen Minderungspegel werden als BVT angesehen.

4.8.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.9: BVT für die Verminderung von Lärmemissionen

Kühlsystem	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Zugehörige Verminderungspegel	Ref.
Naturzug-Kühltürme	Lärm des fallenden Wassers am Lufteinlass vermindern	Verschiedene Techniken verfügbar	≥ 5 dB(A)	Abschnitt 3.6
	Lärmemissionen rund um den Turmfuß vermindern	z.B. durch Anwendung von Erdwall oder Lärmschutzwand	< 10 dB(A)	Abschnitt 3.6
Ventilator-Kühltürme	Verminderung des Ventilatorlärms	Geräuscharme Ventilatoren mit folgenden Eigenschaften anwenden, z.B.	< 5 dB(A)	Abschnitt 3.6
		- Ventilatoren mit größerem Durchmesser; - verminderte Blattspitzengeschwindigkeit (≤ 40 m/s)		Abschnitt 3.6
	Optimierte Diffusorauslegung	Ausreichende Höhe oder Einbau von Schalldämpfern	variabel	Abschnitt 3.6
	Lärminderung	An den Ein- und Auslässen Dämpfungsmaßnahmen anwenden	≥ 15 dB(A)	Abschnitt 3.6

4.9 Verminderung des Leckagerisikos

4.9.1 Allgemeiner Ansatz

Um das Leckagerisiko zu vermindern, muss auf die Auslegung der Wärmetauscher, die Gefährlichkeit der Prozessstoffe und die Kühlkonfiguration geachtet werden. Die folgenden allgemeinen Maßnahmen zur Verminderung des Auftretens von Leckagen können angewendet werden:

- Material für die Ausrüstung von Nasskühlsystemen in Übereinstimmung mit der angewendeten Wasserqualität auswählen,
- das System in Übereinstimmung mit seiner Auslegung betreiben,
- falls Kühlwasserbehandlung erforderlich ist, das richtige Behandlungsprogramm für Kühlwasser auswählen,
- die Leckage in der Kühlwasserableitung in rezirkulierenden Nasskühlsystemen durch das Analysieren der Abflutung überwachen.

4.9.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.10: BVT zur Verminderung des Leckagerisikos

Relevanz ¹⁾	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Alle Wärmetauscher	Kleine Risse vermeiden	ΔT über Wärmetauscher von $\leq 50^\circ\text{C}$	Technische Lösung für höhere ΔT auf der Basis von Fall zu Fall	Anhang III
Gehäuse- und Rohr-wärmetauscher	Innerhalb der Auslegungsgrenzen betreiben	Prozessbetrieb überwachen		Anhang III.1
	Festigkeit der Rohr-/Rohr-Platten Konstruktion	Schweißtechnologie anwenden	Schweißen nicht immer anwendbar	Anhang III.3
Ausrüstung	Korrosion vermindern	T des Metalls auf der Kühlwasserseite $< 60^\circ\text{C}$	Temp. beeinflusst die Korrosionshemmung	Anhang IV.1
Durchlauf-Kühlsysteme	VCI-Wert von 5-8	$P_{\text{Kühlwasser}} > P_{\text{Process}}$ und Überwachung (ohne sekundärem Kreislauf)	Sofortige Maßnahmen im Leckagefall	Anhang VII
	VCI Wert von 5-8	$P_{\text{Kühlwasser}} = P_{\text{Process}}$ und automatische analytische Überwachung (ohne sekundärem Kreislauf)	Sofortige Maßnahmen im Leckagefall	Anhang VII
	VCI-Wert von ≥ 9	$P_{\text{Kühlwasser}} > P_{\text{Process}}$ und automatische analytische Überwachung (ohne sekundärem Kreislauf)	Sofortige Maßnahmen im Leckagefall	Anhang VII
	VCI-Wert von ≥ 9	Wärmetauscher aus hoch korrosionsfestem Material/automatische analytische Überwachung (ohne sekundärem Kreislauf)	Automatische Maßnahmen im Leckagefall	Anhang VII
	VCI-Wert von ≥ 9	Technologie ändern - sekundärer Kühlkreislauf - rezirkulierende Kühlung - Luftkühlung		Anhang VII
	Kühlung von Gefahrstoffen	Ständige Überwachung des Kühlwassers		Anhang VII
	Vorbeugende Instandhaltung (Prüfung) anwenden	Inspektion mittels Wirbelstrom	Andere, zerstörungsfreie Inspektionstechniken sind verfügbar	
Rezirkulierende Kühlsysteme	Kühlung von Gefahrstoffen	Ständige Überwachung der Abflutung		

1) Tabelle für Kondensatoren nicht anwendbar

4.10 Verminderung des biologischen Risikos

4.10.1 Allgemeiner Ansatz

Um das auf den Betrieb von Kühlsystemen zurückzuführende biologische Risiko zu vermindern, ist es wichtig, die Temperatur zu steuern, das System regelmäßig zu warten und Kesselstein und Korrosion zu vermeiden. Alle Maßnahmen liegen mehr oder weniger im Bereich der guten Instandhaltungspraxis, die generell für ein rezirkulierendes Nasskühlsystem gelten sollte. Die kritischeren Zeitpunkte sind die Zeiten der Inbetriebnahme, in denen der Betrieb der Systeme nicht optimal verläuft, und Stillstandszeiten für die Instandsetzung oder Wartung. Bei neuen Türmen muss man die Auslegung und Lage im Hinblick auf empfindliche Objekte in der Umgebung wie Krankenhäuser, Schulen und Unterkünfte für ältere Menschen berücksichtigen.

4.10.2 Festgestellte Verminderungstechniken, die dem BVT-Konzept entsprechen

Tabelle 4.11: BVT zur Verminderung von biologischem Wachstum

Kühlsystem	Kriterium	Primärer BVT-Ansatz	Anmerkungen	Referenz
Alle rezirkulierenden Nasskühlsystem	Algenbildung vermindern	Lichtenergie vermindern, die das Kühlwasser erreicht		Abschnitt 3.7.3
	Biologisches Wachstum vermindern	Stehende Bereiche vermeiden, optimierte chemische Behandlung (auslegen) und anwenden		
	Reinigung nach dem Ausbruch	Eine Kombination von mechanischer und chemischer Reinigung		Abschnitt 3.7.3
	Kontrolle der pathogenen Mikroorganismen ²	Regelmäßige Überwachung pathogener Mikroorganismen im Kühlwasser		Abschnitt 3.7.3
Offene Nasskühltürme	Infektionsrisiko vermindern	Die Bediener sollten Nasen- und Mundschutz (P3-Maske) tragen, wenn sie einen Nasskühlturm betreten	Wenn die Sprühausrüstung eingeschaltet ist oder bei Hochdruckreinigung	Abschnitt 3.7.3

² Anmerkung zur Übersetzung: Entsprechend Kap. 3 sind hier auch fakultativ pathogene Mikroorganismen gemeint.

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

5.1 Zeitlicher Arbeitsablauf

Die Arbeit an diesem BVT-Referenzdokument begann im Juni 1997 mit der Kickoff-Sitzung am 19./20. Juni 1997, auf der der Gegenstand und die wichtigsten Umweltprobleme beschrieben wurden. Ursprünglich sollten im Gegenstand auch Vakuumsysteme enthalten sein, die jedoch wegen ihrer hochgradig prozessabhängigen Eigenschaften für eine allgemeine Abhandlung als zu komplex eingeschätzt und daher aus der Arbeit ausgeklammert wurden.

Der technischen Arbeitsgruppe (TWG) wurden zwei Entwürfe zur Konsultation vorgelegt. Der erste Entwurf wurde im Juni 1999 und der zweite Entwurf im März 2000 vorgelegt. In beiden Konsultationszeiträumen wurden Stellungnahmen und neue Informationen eingereicht.

Auf der abschließenden TWG-Zusammenkunft am 29./31. Mai 2000 wurde ein weitgehender Konsens zu inhaltlichen Fragen sowie zu den BVT-Schlussfolgerungen erreicht. Die BVT-Schlussfolgerungen zur horizontalen Thematik der industriellen Kühlsysteme fanden breite Unterstützung. Der Bezug auf örtliche Aspekte und dessen Konsequenzen für die BVT-Schlussfolgerung waren Gegenstand einer lebhaften Debatte. Die Optimierung der Kühlwasserkonditionierung als wesentlicher Aspekt des Kühlsystembetriebs war ebenfalls ein strittiger Diskussionspunkt. Während und nach der Zusammenkunft wurden noch Stellungnahmen und neue Informationen eingereicht, die in den Abschlussbericht einbezogen wurden.

Im Hauptteil des Dokuments wird das allgemeine Konzept zur Bestimmung der BVT für industrielle Kühlsysteme erläutert. Die wichtigsten BVT-Schlussfolgerungen werden in Kapitel 4 vorgestellt. In zahlreichen Anhängen werden die allgemeinen Aussagen an praktischen Beispielen veranschaulicht.

5.2 Informationsquellen

Für die Ausarbeitung des Dokuments wurde eine Vielzahl von Dokumenten, Berichten und Informationen von Kühlsystembetreibern und Behörden sowie von Lieferanten von Anlagen und Kühlwasserchemikalien als Informationsquellen genutzt.

Unter diesen können die Dokumente tm001 (NL), tm056 und tm132 (Energiewirtschaft) sowie tm139 (Anlagenlieferanten) als allgemeine Bausteine betrachtet werden. Die übrigen eingereichten Informationen waren stärker auf ein konkretes Umweltproblem ausgerichtet, wobei das Schwergewicht zu einem großen Teil auf der Kühlwasserkonditionierung lag.

Als weitere Informationsquellen erwiesen sich Standortbesichtigungen und persönliche Gespräche über die Technologiewahl und über Erfahrungen bei der Anwendung von Emissionsminderungstechniken.

5.3 Empfehlungen für die künftige Arbeit

Die Kühlung ist ein wesentlicher Bestandteil vieler industrieller Prozesse. Die Bewertung der besten verfügbaren Techniken für Kühlsysteme hat gezeigt, dass zwischen internem Wärmemanagement, Wahl und Betrieb des Kühlsystems und den resultierenden Emissionen in die Umwelt ein direkter Zusammenhang besteht. Im Rahmen des BREF-Prozesses ist es jedoch nicht gelungen, Beispiele zur quantifizierten Veranschaulichung dieses Prinzips zu finden, und ein künftiges BREF würde von weiteren Forschungsergebnissen profitieren.

Innerhalb der technischen Arbeitsgruppe ist man übereinstimmend der Auffassung, dass BVT für Kühlsysteme ein Konzept darstellen, in dessen Rahmen eine Reihe spezifischer Techniken ermittelt werden können. Es handelt sich um eine komplexe Problematik, bei der thermodynamische Prinzipien und Wechselwirkungen mit den Prozessparametern eine Rolle spielen. Fest steht, dass BVT für Kühlsysteme ein Abwägen der Anforderungen des zu kühlenden industriellen Prozesses, der Auslegung und Betrieb des Kühlsystems und der Kosten bedeuten. Zu diesem Zweck wird ein BVT-Konzept entwickelt, bei dem das Schwergewicht auf Vermeidung durch technologische Änderungen und Verbesserung der betrieblichen Praxis liegt. Dieses Konzept unterscheidet zwischen neuen und bestehenden Kühlsystemen, wobei jedoch im vorliegenden Dokument betont

wird, dass Emissionsminderungsmaßnahmen für bestehende Kühlsysteme die gleiche Zielsetzung haben. Anders ausgedrückt – es gilt zwar das gleiche Konzept, aber es ist klar, dass die Reduktionsmöglichkeiten bei bestehenden Kühlsystemen begrenzt sind.

Im Zuge des Informationsaustausches konnten einige Techniken herausgearbeitet werden, die im allgemeinen Sinne als BVT gelten können und in Kapitel 4 dargestellt sind.

Es war jedoch schwierig, entsprechend dem primären BVT-Konzept Techniken für Kühlsysteme zu bestimmen. Anscheinend ist man wenig geneigt, im Rahmen einer horizontalen Problematik konkrete Techniken zu benennen, deren allgemeine Anwendbarkeit nicht unbedingt klar auf der Hand liegt.

Über Veränderungen der Technologie und dadurch mögliche Emissionssenkungen wurden keine detaillierten Angaben zu einem praktischen Beispiel zur Verdeutlichung des Verbesserungspotentials gemacht, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass gleiche Änderungen bei ähnlichen Kühlkonfigurationen dennoch unterschiedliche Reduktionswerte ergeben können. Für einen Leistungsvergleich von Systemen würde man vergleichbare Maßeinheiten benötigen, und dazu wird vorgeschlagen, die Leistungsdaten je abgeführte Wärmeinheit (MWth) auszudrücken. Beispiele dafür finden sich im Dokument, soweit dies möglich war.

Was die Umweltprobleme betrifft, die mit dem Betrieb der zum Umfang dieses Dokuments gehörenden industriellen Kühlsysteme verbunden sind, so liegt das Schwergewicht zu einem großen Teil auf der Verminderung von Emissionen in die aquatische Umwelt. Es wurden nur wenige Daten gemeldet, die als repräsentativ gelten können, und es wird eine Bestandsaufnahme empfohlen, um sich ein besseres Bild machen zu können, das als Vergleichsgrundlage für die Ergebnisse von (künftigen) Emissionsminderungstechniken dienen könnte.

Die TWG erachtet die Wahl von Kühlwasserzusätzen als einen wichtigen Weg zur Verminderung von potentiell schädlichen Emissionen in die aquatische Umwelt. Für eine Entscheidung auf örtlicher Ebene ist ein allgemeines Bewertungsverfahren erforderlich, in das örtliche Parameter einbezogen werden. In diesem BREF werden zwei Konzepte für Hilfsmittel zur örtlichen Bewertung von Kühlwasserzusätzen vorgestellt. Die TWG schätzt beide Konzepte als wertvolle Instrumente ein, wobei das vergleichende Konzept (Anhang VIII.1) jedoch noch ein theoretisches Modell ist, das weiterer Untersuchung bedarf.

Die von Nasskühltürmen ausgehenden Emissionen in die Luft können Chemikalien oder Bakterien enthalten; in der TWG bestand jedoch die einhellige Auffassung, dass es zu wenig Datenmaterial gibt. Zur Bestimmung ihrer Bedeutung wären genaue Messungen zur Quantifizierung der Emissionen bei gegebenem Wasserkonditionierungsmodus und Wirkungsgrad von Tropfenabscheidern nötig. Dazu sind noch weitere Untersuchungen anhand verfügbarer Daten notwendig.

In einigen Mitgliedstaaten wird zur Zeit der Entwicklung von Legionella in Nasskühltürmen sehr viel Aufmerksamkeit gezollt, was auf einige in jüngster Zeit vorgekommene Fälle der Legionärskrankheit zurückzuführen ist. Daraus erklärt sich der verhältnismäßig lange Abschnitt, der sich mit diesem Aspekt beschäftigt. Die vorgelegten Informationen machen deutlich, dass noch weitere Arbeit zur Aufstellung repräsentativer Konzentrationswerte für Legionella und zur Verbesserung der Systemreinigung nach dem Ausbruch sowie für die tägliche Wartung nötig ist.

Ein akzeptabler Höchstwert koloniebildender Einheiten (KBE) für ein Kühlsystem mit einem dazugehörigen niedrigen Risiko ist nicht bestimmt worden. Gegenwärtig ist noch nicht klar, ob sich ein solcher Wert bestimmen lässt. Auf diesem Gebiet werden vielleicht künftige Arbeiten in der Lage sein, weitere Fortschritte zu erkennen.

Eine Anzahl von Techniken wurde als BVT erkannt und eingestuft; einige befinden sich jedoch noch im Frühstadium und können als in der Entwicklung befindliche BVT betrachtet werden. Ihre Anwendung und Umweltauswirkungen müssen noch bewertet werden. Beispiele für solche Techniken sind Sprühteiche (oder Verdunstungsteiche) und Kälte- und Wärmespeicherung.

Es wird empfohlen, dieses Dokument nach Ablauf von 3 Jahren einer Überarbeitung zu unterziehen, um auf die oben genannten Punkte einzugehen.

REFERENCES

[Comment-1, ..]

Information submitted as comment on the first draft of the BREF-document by TWG-member (Member State or institute)

[Correia, 1995]

Correia F.N. et al, Water availability, uses and institutions in Europe, Summary report and vertical issues, Congres Center Instituto Superior Técnico (Lissabon (P), 1995).

[Hadderigh, 1978]

Hadderigh, R.H., 1978. Mortality of young fish in the cooling water system of Bergum power station. Verh. Internat. Verein. Limnol., vol. 20, pp. 1827-1832.

[Haddingh, 1983]

Haddingh, R.H. et al., 1983. Fish impingement at power stations situated along the rivers Rhine and Meuse in the Netherlands. Hydrobiological Bulletin 17 (2), pp. 129-141.

[KEMA, 1972]

KEMA, 1972. Invloed van maaswijdte van de draaizeven op passage en overleving van met het koelwater ingezogen jonge vis bij de Flevo-centrale. KEMA-memorandum VII 78-87, MO-biol.

[KEMA, 1982]

KEMA, 1982. Visproblemen bij de inlaat van centrales; samenvatting van een voordracht op de 22^e vergadering van de Kring van Chemici van Centrales. KEMA-memorandum 82-12 MO-biol.

[KEMA, 1992]

KEMA, 1992. Bemonstering van ingezogen vis bij eenheid 13 van centrale Gelderland in maart, juli en november van 1990 en 1991. KEMA-rapport 71176-MOB 92-3652.

[Carter and Reader, in press]

Carter, K.L. and J.P. Reader, (in press), Patterns of drift and power station entrainment of 0⁺ fish in the River Trent, England.

[tm001, Bloemkolk, 1997]

Bloemkolk, J.W. Industrial cooling water discharge. Cooling systems and emissions. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 95.050 (Lelystad (NL), 1995, English translation 1997). ISBN 9036945445

[tm003, Van der Schaaf, 1995]

Schaaf R.J van der., Eindrapport alternatieve koelsystemen industrie. Final report by Fluor Daniel in order of Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA (Lelystad (NL), 1995).

[tm004, Baltus and Berbee, 1996]

Baltus C.A.M., Berbee R.P.M., Het gebruik van biociden in recirculatiekoelsystemen. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 95.036 (Lelystad (NL), 1996). ISBN 903694550X.

[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Donk M van., Jenner H.A., Optimization of biofouling control in industrial cooling water systems with respect to the environment. Edit. KEMA, by order of RIZA (Arnhem (NL), 1996).

[tm010, Betz, 1991]

Betz handbook of industrial water conditioning, 9th edition, Trevese, U.S.A (1991).

[tm012, UBA, 1982]

Umweltbundesamt, Abwärmekommission (edit.) Abwärme - Auswirkungen, Verminderung, Nutzung, Bericht 82-3, Berlin (D) 1982.

[tm014, KEMI, 1991]

Kemikalieinspektionen 6/91 (Solna, (S), 1991). Miljöfarligheten hos mikrobiocider i kylvatten. (ISSN: 0284-1185).

[tm032, Zimmerman and Hamers, 1996]

Zimmerman, P. and J.P. Hamers, Planung und Bau eines Schwadenfreien geräuscharmen Hybridkühlturmes mit einer umweltschonenden Wasserbehandlung durch Ozon für ein GuD-Kraftwerk in den Niederlanden, VGB Kraftwerkstechnik 76, 1996, Heft 6 (p.502-505).

[tm034, Hobson et al., 1995]

Hobson, E., P. Lindahl and T. Massey, Leistungssteigerung mit Kühlturmeinbauten aus NPF (National Power Fill), VGB Kraftwerkstechnik 75, Heft 9 (p. 829-833)

[tm036, Wilsey, 1997]

Wilsey, C.A., Alternative water treatment for cooling towers. ASHRAE Journal April, 1997 (p.43-46).

[038, Millar et al., 1997]

Millar, J.D., G.K. Morris and B.G. Shelton, Legionnaires' disease: seeking effective prevention, ASHRAE Journal, 1997 (p.22-29)

[tm039, Strittmatter et.al., 1996]

Strittmatter, R.J., Yang B., Johnson D.A., Ozone application for cooling tower water. ASHRAE Journal, 1996.

[tm040, Schulze-Robbecke and Richter, 1994]

Schulze-Röbbecke, R. and Richter, M., Entstehung und Vermeidung von Legionelleninfektionen durch Kühltürme und Rückkühlwerke, GI Gesundheits –Ingenieur Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 115, 1994 (p.71-77).

[tm041, Burger, 1994]

Burger, R., Select the right cooling tower fill, Hydrocarbon Processing, August 1994 (p. 141-143).

[tm042, Veil and Moses, 1995]

Veil, J.A., Moses, D.O., Consequences of proposed changes to clean water act thermal discharge requirements. Paper presented to EPRI, international Clean Water Conference, (Jolla, CA (USA), 1995).

[tm044, Carhart and Policastro, 1991]

Carhart, R.A. and Policastro, A.J., A second-generation model for cooling tower plume rise and dispersion – I. Single sources. Atmospheric Environment Vol.25A, no. 8, 1991 (pp. 1559-1576).

[tm046, Vanderheyden and Schuyler, 1994]

Vanderheyden, M.D., Schuyler, G.D., Evaluation and quantification of the impact of cooling tower emissions on indoor air quality, ASHRAE Transactions of Annual Meeting, Vol. 100, part 2 (p. 612-620)

[tm056, Caudron, 1991]

Caudron, L., Les réfrigérants atmosphériques industriels, éditions Eyrolles, Paris (1991).

[tm059, Mortier, 1995]

Mortier, R., Pretreatment and desalting of contaminated and brackish surface water with reverse osmosis, Proceedings of Watersymposion 1995 (p.144-158), Breda (NL).

[tm059, Paping, 1995]

Paping, L.L.M.J., Energiebesparing door schone koelers, Proceedings of Watersymposion 1995 (p.23-47), Breda (NL).

[tm061, Eurovent/Cecomaf, 1997]

Eurovent/ (WG 9, Cooling towers), Mechanical draught cooling tower acoustics, practical guide, Paris, Draft December 1997.

[tm062, Dallmier, 1997]

Dallier, A.W., J.D. Martens and W.F. McCoy, performance of stabilized halogen biocides in cooling water, report 398, Naperville, Illinois (USA), 1997).

[tm064, Meier, 1990]

Meier, D.A., Zero blowdown - A solution for water conservation, International Water Conference, October 1990, Reprint nr. 529.

[tm065, Meier and Fulks, 1990]

Meier, D.A., and K.E. Fulks, Water treatment options and considerations for water reuse, National Association of Corrosion Engineers Corrosion '90 meeting, Las Vegas (USA), Reprint nr. 520.

[tm066, Phillips and Strittmatter, 1994]

Phillips, E.C., and R.J. Strittmatter, Reuse of industrial waste stream as cooling tower makeup, 1994 Coolin Tower Institute Annual Meeting, Houston Texas (USA), 1994).

[tm067, Hoots et al, 1993]

Hoots, J.E., B.V. Jenkins and E.C. Ray, Choosing chemical dosage control for cooling water inhibitors and dispersants, Paper presented at Meeting of International District Heating and Cooling Association October 27-29, 1993, Tulsa (USA), Reprint 622, Nalco.

[tm068, Ambrogi, 1997]

Ambrogi, R., Environmental impact of biocidal antifouling alternative treatments of sea water once-through cooling systems (1997). Proceedings of symposium on chlorine dioxide and disinfection, Rome (I), 1996.

[tm070, Benschop, 1997]

Benschop, P., The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of surface waters act. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 98.005 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951569.

[tm071, Niebeek, 1997]

Niebeek, G. Procedure for the evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of surface waters act. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 98.006 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951577.

[tm072, Berbee, 1997]

Berbee R.P.M., Hoe omgaan met actief chloor in koelwater? (How to use active chlorine in cooling water?), Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 97.077 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036951240.

[tm079, CES, 1994]

Consultants in Environmental Sciences Ltd. Biocides in cooling water systems (Beckenham(UK), 1994) by order of the U.K Department of the Environment.

[tm082, Mittendorf, 1990]

Mittendorf, E.D., Removal of asbestos paper fill from large industrial cooling towers, Paper presented at 1990 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1990).

[tm083, Adams and Stevens]

Adams, S. and Stevens, J., Strategies for improved cooling tower economy. Paper presented at 1991 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (New Orleans, Louisiana (USA), 1991).

[tm084, Rice and Wilkes, 1992]

Rice R.G. and Wilkes J.F.. Biocidal aspects of ozone for cooling water treatment-probable impacts of bromide ion. Paper presented at 1992 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1992).

[tm086, Van der Spek, 1993]

Spek, H. van der, Reduction of noise generation by cooling fans, Paper presented at 1993 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (New Orleans, Louisiana (USA), 1993).

[tm087, Engstrom and Tully, 1994]

Engstrom, G.G. and J.C. Tully, Monitoring biological control in cooling systems, paper presented at the 1994 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm090, Grab et al, 1994]

Grab, L.A., J.A. Diemer, M.G. Freid, The effect of process leak contaminants on biocidal efficacy, Paper presented at 1994 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1994)

[tm091, Little et.al, 1994]

Little D. A., Mitchell WA., E.S. Lawson, The control of ferrous metal corrosion in cooling water by a novel phosphonate corrosion inhibitor. Paper presented at 1994 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm092, Becker and Burdick, 1994]

Becker, B.R. and L.F. Burdick, Drift eliminators and fan system performance, Paper presented at 1994 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1994).

[tm093, Mirsky, 1995]

Mirsky, G.R., Cooling tower noise, Paper presented at the 1995 Cooling Tower Institute Annual Meeting, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm094, Alfano and Sherren, 1995]

Alfano, N.J. and D.J. Sherren, Water conservation via new cooling water technology, Paper presented at the 1995 Cooling Tower Institute Annual Meeting, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm095, Cunningham, 1995]

Cunningham, R.J., Maximizing cooling tower cycles of concentration, Paper presented at the Cooling Tower Institute Annual Meeting, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm096, McCoy et al, 1995]

McCoy, W.F., S.A. Borchardt, and M.R. Hermiller, Traced biocides: a new technology for industrial water treatment, Paper presented at the 1995 Cooling Tower Institute Annual Meeting, Fort Worth (Texas (USA), 1995).

[tm97, Immell, 1996]

Immell, W.F., Variable speed fan drives for cooling towers, Paper presented at 1996 Cooling Tower Institute Annual Meeting, (Houston, Texas (USA), 1996).

[tm101, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Hybrid cooling towers, Ratingen (D), 1996.

[tm102, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Natural draught wet cooling towers-nature's good deed, Ratingen (D), 1996.

[tm103, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Mechanical draught wet cooling towers-cooling air supplied by fan power, Ratingen (D), 1996.

[tm104, Tesche, 1997]

Tesche, W., Selection criteria for different types of cooling towers, Balcke-Dürr Ratingen (D), 1997.

[tm109, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Air-cooled heat exchangers for the hydrocarbon process industry, Ratingen (D), 1996.

[tm110, BDAG, 1995]

Balcke Dürr AG, Technical information on cooling towers for salt water applications (pers. comm.)

[tm111, BDAG, 1996]

Balcke Dürr AG, Air-cooled heat exchangers, Ratingen (D), 1996.

[tm113, Streng, 1996]

Streng, A., Combined wet/dry cooling towers of a cell-type construction, American Power Conference 58th Annual Meeting, (Chicago (USA), 1996).

[tm117, Remberg and Fehndrich, 1993]

Remberg, H.-W. and B. Fehndrich, Wirkungsgradverbesserung bei naturzug-Nasskühltürmen durch Austausch von Asbestzement-Kühleinbauten gegen Kunststoff-Kühleinbauten, Kraftwerk und Umwelt, 1993 (p. 112-117).

[tm123, Alt and Mäule, 1987]

Alt, W. and R. Mäule, Hybridkühltürme im wirtschaftlichen Vergleich zu Nass- und Trockenkühltürmen, VGB Kraftwerkstechnik 8, (page 763-768), 1987.

[tm131, Dziobek, 1998]

Dziobek, Th., Ozon stopft Loch in der Kasse (Ozone fills financial gap in the pocket), Umwelttechnik (Sonderteil Wasser), April 1998.

[tm132, Eurelectric, 1998]
BAT for Cooling Systems. Eurelectric, The European Grouping of the Electricity Supply Industry, (Brussels (B), 1997, updated 1998).

[tm135, Nalco, 1988]
The Nalco Water Handbook, 2nd edition, USA (1988).

[tm136, Jäggi/Günthner, 1997]
Jäggi/Günthner, Industrial coolers, Technical information, edit. 9.97, Bern (1997).

[tm139, Eurovent, 1998]
Proposal for a BREF-document for cooling systems. Drafted by Coopers & Lybrand Umwelt (1998) by order of Eurovent, the European Committee of Air handling and Refrigeration Equipment manufacturers. Report number: 61350027.

[tm 144, Cabanes et al, 1997]
Cabanes, P.A., E. Pringuez, F. Siclet, M. Khalanski, and P. Pernin, Continuous chlorination to control pathogenic free living amoebae in a closed loop power plant, The Environmental Professional, Volume 19, 1997 (p.192-200)

[tm145, Werner and Pietsch, 1991]
Werner, H.-P. von, M. Pietsch, Bewertung des Infektionsrisikos durch Legionellen in Kühlkreisläufen von Kraftwerken, VGB Kraftwerkstechnik 71, Heft 8, p. 785-787 (1991)

[tm146, Daamen and Savelkoul, 1999]
Daamen E.J., and J.T.G. Savelkoul, Zijstroom-biofiltratie in open recirculerende koelwatersystemen, In: proceedings Watersymposium '99, Breda, NL (1999).

[tm147, Bloemkolk and Van der Schaaf, 1996]
Bloemkolk J.W., R.J. van der Schaaf, Design alternatives for the use of cooling water in the process industry: minimization of the environmental impact from cooling systems, J. Cleaner Production Vol.4, No. 1, pp. 21-27, 1996.

[tm148, RIZA, 1996]
RIZA, Visintrek door grootschalige koelwaterinname, Problematiek en aanbevelingen, FWVO-nota 96.01 (January, 1996).

[tm149, Baltus et al., 1999]
Baltus, C.A.M., L.C.M., Kerkum and P.G.M. Kienhuis, Acute toxiciteit van koelwaterlozingen uit recirculatiekoelsystemen, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 99.025 (Lelystad (NL), 1997). ISBN 9036952492.

[tm150, Paping, 1999]
Paping, L.L., Feasibility study on application of spray ponds, Pers. comm. on study, Dow Europe (Terneuzen (NL), 1999).

[tm151, BAC, 1999]
Baltimore Aircoil, H₂O conserving HXI hybrid fluid cooler, Information Leaflet, Heist-op-den-Berg (B), 1999.

[tm152, Taft, 1999]
Taft, E.P., Fish protection technologies: a status report. Alden Research Laboratory Inc., Holden (USA), 1999.

- [tm153, Paping et al, 1999]
Paping, L.L.M.J., H.A. Jenner, H.J.G. Polman, B.H. te Winkel and M.R. de Potter, Ecological conditioning and optimisation of a once-through cooling water system, Proceedings of Watersymposium 1999, p.327 – 355 (Breda (NL), 1999).
- [tm154, Besselink et al, 1999]
Besselink, V.V., M.A.M. Beerlage, W. de Jongh and G. Koopmans, Haalbaarheidstudie naar alternatieve koeling door middel van sproeivijvers, KEMA-report nr 99532763.EP.163 99P01, Arnhem (NL) 1999.
- [tm155, Berbee, 1999]
Berbee, R.P.M., Legionella in oppervlaktewater, in koelwater, in RWZI's, in.....; waar eigenlijk niet?, Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 99.057 (Lelystad (NL), 1999), ISBN 9036952867.
- [tm156, Schmittecker et al, 1999]
Schmittecker, B.M., K.-P. Henke, and W. Bergmann, Kühlwasserbehandlung mit Ozon. (Cooling water treatment with ozone), VGB KraftwerksTechniek 4/99.
- [tm157, Jenner et al, 1998]
Jenner, H.A., J.W. Whitehouse, C.J.L. Taylor and M. Khalansky, Cooling water management in cooling power stations-Biology and control of fouling, Hydroecologie Appliquee, Tome 10, Volume 1-2, 1998, ISSN: 1147-9213.
- [tm158, VGB, 1998]
VGB, VGB-Richtlinie, Lärminderung in Wärmekraftanlagen, VGB-R 304, April 1998.
- [tm159, KEMA/EPON, 1993]
KEMA by order of N.V. EPON, Milieu-effect rapport WKC-Nijmegen (Environmental effect report Heat and Power Unit Nijmegen), Arnhem (NL), 1993, Ref.nr. KEMA 21446-KEC 92-363.
- [tm160, Bijstra, 1999]
Bijstra, D., Verantwoord omgaan met biociden in koelwater. FWVO-rapport 99.02. (NL, 1999)
- [tm161, Borgerding, 1998]
Borgerding, P.H., Koelsystemen. “Koeling is meer dan warmte alleen”. (Cooling systems. “Cooling is more than just heat”). Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General of Water Management, RIZA. Report number: 98.056 (Lelystad (NL), 1998), ISBN 9036952107.
- [tm164, Travade, 1987]
Travade F., Aspiration d'organismes aux prises deau des centrales (RGN, 1, pp 59-62, 1987).
- [tm165, Turnpenny et al, 1985]
Turnpenny, A.H.W., T.E. Langford and R.J.Aston, Power Stations and Fish. (ECB Research, pp 27-39, 1985).
- [tm166, Morton et al, 1986]
Morton, S.J., C.L.R. Bartlett, L.F. Bibby, D.N. Hutchinson, J.V. Dyer, P.J. Dennis, Outbreak of legionnaires' disease from a cooling water system in a power station. British Journal of Industrial Medicine 1986; 43: 630-635.
- [tm167, Fliermans, 1996]
Fliermans, C.B., Ecology of *Legionella*: From data to knowledge with a little wisdom. Microbial Ecology 1996; 32: 203 – 228.

[tm168, De Potter et al, 1996]

De Potter, M.R., H.J.G. Polman and B.H. te Winkel, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1995, KEMA-report 64683-KES/WBR 96-3114

[tm169, De Potter et al, 1997]

De Potter, M.R., H.J.G. Polman and B.H. te Winkel, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1996, KEMA-report 64683-KES/WBR 97-3128

[tm170, De Potter and Polman, 1999]

De Potter, M.R. and H.J.G. Polman, Effectiveness and environmental impact of elevated hypochlorite dosing at Dow Benelux 1997, KEMA-report 9756058-KPG/CET 99-4403

[tm171, Polman, 2000]

Polman H.J.G., Antifouling optimisation by pulse-alternating chlorination at Dow Benelux 1999, KEMA-report 99550566-KPS/MEC.

ANNEXES

Table of contents

ANNEX I THERMODYNAMIC PRINCIPLES.....	155
I.1 Heat transfer in a shell and tube heat exchanger	155
I.2 Approach.....	156
I.3 Capacity of a heat exchanger	157
I.4 Wet and dry bulb temperatures	158
I.5 Relation between heat transfer and heat exchanging surface	158
ANNEX II PRINCIPLE OF ENERGY SAVING THROUGH OPTIMISED COOLING.....	161
II.1 Subject.....	161
II.2 Summary of conclusions	161
II.3 Introduction	162
II.4 Calculations.....	164
II.4.1 Principles	164
II.4.2 Quantity of cooling water	166
II.4.3 Quantity of cooling air	167
II.4.4 Product temperature; gas volume	168
II.4.5 Product pressure; cooling compressor	169
II.5 Total potential energy conservation per °C colder cooling-water boundary layer	170
II.5.1 Efficiency of power generation	170
II.5.2 Total water used for cooling in the Dutch industry (excl. power plants).....	171
II.5.3 Total potential energy conservation per °C colder cooling-water boundary layer	172
II.6 Examples of calculations for the relative conservation of energy and reduction of the environmental impact achieved by the use of inhibitors	173
II.6.1 The contribution made by oxidation.....	173
II.6.1.1 Once-through cooling system	173
II.6.1.2 Open recirculating system.....	174
II.7 Examples of calculations of the relative savings in energy with colder cooling water	176
II.7.1 Coastal water versus cooling towers.....	176
II.7.2 River water versus cooling towers.....	176
II.7.3 Groundwater versus cooling tower.....	177
II.8 Appendix environmental impacts.....	177
ANNEX III SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS FOR INDUSTRIAL ONCE-THROUGH COOLING SYSTEMS AND THE OCCURRENCE OF LEAKAGE.....	179
III.1 Design of the shell & tube heat exchanger for one through systems.....	180
III.2 Leakage in shell & tube heat exchangers	182
III.3 Alternatives	183
ANNEX IV BEISPIEL FÜR DIE AUSWAHL VON MATERIAL FÜR KÜHLWASSER-SYSTEME IN INDUSTRIELLEN ANWENDUNGEN (AUSSER KRAFTWERKEN)	185
IV.1 Einführung	185
IV.2 Direkte Durchlaufsysteme (mit Brackwasser).....	186
IV.3 Durchlaufsysteme mit sekundärem Kühlkreislauf (Brackwasser/entmineralisiertes Wasser)	188
IV.4 Offene rezirkulierende Kühlsysteme.....	189
IV.4.1 Anwendung von Süßwasser in offenen Nasskühltürmen	189
IV.4.2 Anwendung von Salzwasser in offenen Nasskühltürmen.....	189
ANNEX V OVERVIEW OF CHEMICALS FOR THE CONDITIONING OF COOLING WATER SYSTEMS	191
V.1 Corrosion inhibitors	191
V.1.1 Corrosion.....	191
V.1.2 Applied corrosion inhibitors.....	191
V.2 Scale inhibitors.....	192
V.2.1 Scaling.....	192
V.2.2 Applied scale inhibition.....	192
V.3 Fouling inhibitors (dispersants).....	193
V.3.1 Fouling.....	193
V.3.2 Applied fouling inhibitors	194
V.4 Biocides.....	194
V.4.1 Biofouling.....	194
V.4.2 Applied biocidal treatment	197
V.4.3 Oxidising biocides	197
V.4.4 Non-oxidising biocides.....	199
V.4.5 Factors determining the use of biocides.	200

V.4.6	Interactions with other water treatment chemicals.....	202
V.5	Cycles of concentration and water balance.....	202
	ANNEX VI EXAMPLE OF LEGISLATION IN EUROPEAN MEMBER STATES	205
	ANNEX VII EXAMPLE OF A SAFETY CONCEPT FOR OPEN WET COOLING SYSTEMS	
	(VCI-CONCEPT).....	209
VII.1	Introduction to the concept.....	209
VII.2	Requirements of the concept.....	211
VII.3	Appendix 1 - Automatic analytical monitoring of once-through cooling systems	213
VII.4	Appendix 2 – R-phrases used to calculate VCI-score.....	214
	ANNEX VIII EXAMPLES FOR THE ASSESSMENT OF COOLING WATER CHEMICALS ..	217
VIII.1	Benchmark assessment concept for cooling water chemicals.....	217a
VIII.1.1	Introduction.....	217a
VIII.1.1.1	Background	217a
VIII.1.1.2	Relevant legislative background.....	218
VIII.1.1.3	The water framework directive (WFD)	218
VIII.1.2	Benchmarking : introduction of the concept	219
VIII.1.2.1	The PNEC220	
VIII.1.2.2	The PEC 221	
VIII.1.3	Basic cooling towers material balances	222
VIII.1.3.1	Cooling towers basic equations	222
VIII.1.3.2	Water balance	222
VIII.1.3.3	Material balance	222
VIII.1.3.4	Concentration	223
VIII.1.3.5	Discussion.....	223
VIII.1.4	Calculation of PEC and benchmarking	224
VIII.1.5	Computation methods	226
VIII.1.5.1	Single Substances	226
VIII.1.5.2	Complex multi-substances treatments	226
VIII.1.6	Appendix I: extract from technical guidance document.....	228
VIII.2	Concept of a local assessment method for cooling water treatment chemicals, with a particular emphasis on biocides.....	231
VIII.2.1	Introduction.....	231
VIII.2.2	Key elements.....	232
VIII.2.3	Example of proposed local assessment method	235
	ANNEX IX EXAMPLE OF A MODEL FOR ESTIMATING EMISSIONS OF BIOCIDES IN THE BLOWDOWN	239
	ANNEX X INVESTMENT COSTS AND OPERATIONAL COSTS OF EQUIPMENT AND ELEMENTS OF COOLING SYSTEMS FOR NON-POWER PLANT APPLICATIONS	241
	ANNEX XI BEISPIELE VON TECHNIKEN, DIE INNERHALB DES PRIMÄREN BVT-ANSATZES FÜR INDUSTRIELLE KÜHLSYSTEME ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND ...	247
XI.1	Einleitung.....	247
XI.2	Kühlwasser durch die Wiederverwendung von Wasser einsparen	247
XI.2.1	Wiederverwendung von (Ab-) Wasser als Zusatzwasser für Kühltürme	248
XI.2.2	Nullableitungssystem	249
XI.2.3	Sprühbecken.....	250
XI.2.4	Lagerung zur Abkühlung	251
XI.3	Verminderung der Emissionen durch optimierte Kühlwasseraufbereitung	253
XI.3.1	Seitenstrom-Biofiltrierung in einem offenen rezirkulierenden Kühlwassersystem.....	253
XI.3.2	Physikalische Methoden.....	256
XI.3.3	Optimierung der Anwendung von Bioziden	258
XI.3.3.1	Überwachung.....	258
XI.3.3.1.1	Überwachung der Makro-Verschmutzung	258
XI.3.3.1.2	Markierte Biozide zur Bestimmung der Biozid- und mikrobiologischen Aktivität.....	258
XI.3.3.2	Bioziddosierung.....	259
XI.3.3.2.1	Verschiedene Betriebsbedingungen für die Aufbereitung, um die optimale jährliche Gesamtanwendung von Oxidationsmitteln in Durchlaufsystemen gegen Makro- und Mikroverschmutzung zu erzielen.	259
XI.3.3.2.2	Alternierende Impeschlorung in Durchlaufsystemen	261
XI.3.4	Alternative Kühlwasserbehandlungsverfahren.....	264
XI.3.4.1	Ozon	264
XI.3.4.2	UV-Behandlung.....	266
XI.3.4.3	Katalytische Behandlung mit Wasserstoffperoxid	266

XI.3.4.4	Chlordioxid	267
XI.3.4.5	Wasserreinigung durch Ionen zur Behandlung von Kühlturmwasser	270
XI.3.4.6	Halogenierte Biozide im Kühlturmwasser stabilisieren	270
XI.3.4.7	Filmbildende Mittel gegen Verschmutzung, Korrosion und Verkrustung	271
XI.3.4.8	Stabile organische Korrosionsinhibitoren in offenen Nasskühltürmen	274
XI.3.5	Behandlung von abgeleitetem Kühlwasser	275
XI.4	Variable Frequenz-Steuerungen zur Verminderung des Energieverbrauchs	276
ANNEX XII SPECIAL APPLICATION: POWER INDUSTRY	277	
Synthesis	277	
XII.1	Introduction	277
XII.2	Power plant cooling systems - principles and reminders	278
XII.3	Possible environmental impacts of cooling systems	279
XII.3.1	Heat discharges to the atmosphere	279
XII.3.2	Heating of receiving aquatic-environments	281
XII.3.3	Suction of organisms into water intakes	282
XII.3.4	Alteration of the receiving environment by chemical discharges	283
XII.3.5	Other possible harmful effects resulting from the choice of some cooling systems	286
XII.4	Prior study of the sites: indispensable tool for the evaluation of their receiving capacity, impact control and prevention of harmful effects	287
XII.4.1	Analysis of the situation	287
XII.4.2	Mathematical modellings, simulations on models and tests on pilot loops, first indispensable tools	287
XII.5	Design of components and choice of materials	288
XII.5.1	Wet cooling	288
XII.5.2	Hybrid cooling	289
XII.5.3	Dry cooling	290
XII.5.3.1	Forced draught air-cooled condenser	290
XII.5.3.2	Natural draught air-cooled condenser	290
XII.5.3.3	Closed recirculating dry cooling towers	291
XII.5.4	Cooling towers with discharge of cleaned flue gas	291
XII.6	Cost comparison between the various types of cooling towers	292
XII.7	Choice of the treatment of circulating water alternative methods - monitoring	295
XII.7.1	Anti-scale treatment	295
XII.7.2	Anti-fouling treatments (biocides)	296
XII.7.3	Monitoring	296
XII.8	Design of the cooling system	297
XII.8.1	Design and energy recovery	297
XII.8.2	Design and noise reduction measures	297
XII.8.3	Implementation of physical methods	297
XII.8.4	Modelling and pilot tests	298
XII.8.5	Choice of the cooling system	298
XII.9	Conclusions	298
XII.10	Literature	300
XII.11	Illustrations	306

List of tables

Table I.1: Fouling factors for shell and tube heat exchangers, indicative values [Van der Schaaf, 1995]	155
Table I.2: Specific heat capacities of air and water	157
Table I.3: Heat transfer coefficients and estimated surface areas A (m^2) per MW and at 20K mean temperature difference for different industrial applications.....	158
Table I.4: Effects of the cooling principle on the capacity, approach and cooling surface of a cooling system	159
Table II.1: Energy consumption in kW_e , electricity consumption / $MW_{th, cooling}$ with clean heat exchangers.....	163
Table II.2: Mean attainable lowest cooling water inlet temperatures for the various cooling systems during the months of July and August in the Netherlands.	163
Table II.3: Conservation ratios for once-through and recirculating cooling system.....	177
Table II.4: Energy conservation with potential colder cooling water source.....	177
Tabelle IV.1: Geschwindigkeit des Kühlwassers und Materialart.....	185
Tabelle IV.2 Für Pumpen in Brackwasser angewendete Materialien	186
Tabelle IV.3: Für Gehäuse- und Rohr-Wärmetauscher in Brackwasser angewendete Materialien.....	187
Table V.1: Survey of fouling and clogging organisms, and degree of fouling in marine, brackish and fresh water. In the last column mitigation is presented.....	195
Table V.2: Estimated consumption levels of some commonly used oxidising biocides in a few European Member States	198
Table V.3: Estimated consumption levels in some of European Member States of some commonly used non-oxidising biocides in kg/yr	200
Table VII.1: Score for a number of R-phrases to calculate the total score for process substances.....	210
Table VII.2: Requirements of VCI safety concept for cooling technology	211
Table VII.3: Description of R-phrases used to calculate VCI-score for cooling systems selection	214
Table VIII.1: Calculation of PEC and Benchmarking	225
Table VIII.2: Assessment factors to derive a PNEC.....	229
Table VIII.3: Predicted concentrations of DBNPA in different surface waters for this example.....	237
Table VIII.4: Ecological data of DBNPA.....	237
Table VIII.5: Consequences of closing the discharge	238
Table X.1: Cost elements for water and air cooling systems.....	243
Table X.2: Cost indications for water and air cooling systems for industrial applications with the exception of power plants (1993-1995)	244
Tabelle XI.1: Investitions- und Energiekosten pro MW_{th} für Sprühbecken und Kühlturm	251
Tabelle XI.2: Physikalische Techniken zur Minderung der Biozidanwendung.....	257
Tabelle XI.3: Wirkung der Anwendung eines optimierten Dosierungssystems auf die Anzahl der durch Muscheln verursachten Leckagen.....	262
Tabelle XI.4: Typische Dosierung von Chlordioxid für Durchlauf- und rezirkulierende Systeme in Europa	268
Tabelle XI.5: Wirkung von Chlordioxid, angewendet im Durchlaufsystem gegen Larvenablagerung.....	269
Table XII.1: Example of simplified balance of a thermal cycle for conventional new design	278
Table XII.2: Relationship between the installed capacity and cooling parameters	278
Table XII.3: Comparison of different types of recirculating cooling systems with a lifetime of 25 years and an actualisation ratio of 8% (study on EDF units of 1300 MWe)	293
Table XII.4: Comparison of wet cooling towers and aircooled condenser with a life-time of 20 years and an actualisation ratio of 8% for a combined cycle unit 290 MW_{th}	293
Table XII.5: Relationship between the concentration factor, the withdrawn water flowrate and the energy discharged into the receiving waterway (individual example).....	295

List of figures

Figure II.1: Illustration of areas of potential energy saving by reduction of the temperature gradient through a fouling layer as well as by using colder cooling water influent	162
Figure II.2: Graphic representation of pollution factors responsible for extra temperature gradient over the pipe wall	164
Figure II.3: Schematic representation of driving force over the length of a heat exchanger.....	166
Figure II.4: Number of cooling water pumps and change of cooling water low due to fouling.....	167
Figure II.5: Change of temperature gradient of product gas (moles) in a counter flow heat exchanger due to fouling	168
Figure II.6: Representation of increase of process pressure to compensate temperature increase due to fouling	169
Figure II.7: Efficiency power generation for pumps, fans and compressors.....	170
Figure III.1: Major components of shell & tube heat exchanger.....	179
Figure III.2: Heat exchanger nomenclature (Standards of the tubular Exchanger Manufacturers Association).....	181
Figure V.1: Tower and solids balances for an evaporative cooling system using a cooling tower	203
Figure V.2: Reduction of the make-up flow by concentration in an evaporative cooling system.....	203
Figure VIII.1: Cooling tower material balance	222
Figure VIII.2: Combined approach for the assessment of cooling water biocides for existing installations	234
Figure VIII.3: Schematic representation of a recirculating cooling system with the data for the example of a local selection method of cooling systems chemicals.....	236
Abbildung XI.1: Optimierte Hypochlorid-Dosierung (alternierende Impulschlorung) unter Berücksichtigung der Verschmutzung und der Charakteristika des Kühlsystems	263
Figure XII.1: Once-through system	306
Figure XII.2: Wet cooling tower.....	306
Figure XII.3: Once - through cooling with cooling tower.....	307
Figure XII.4: Recirculating cooling	307
Figure XII.5: Mechanical draught cooling tower (pressure fans)	308
Figure XII.6: Mechanical draught cooling tower (suction fans, cell construction).....	308
Figure XII.7: Mechanical draught cooling tower (pressure fans, cell construction)	309
Figure XII.8: Hybrid cooling tower	309
Figure XII.9: Forced draught air-cooled condenser	310
Figure XII.10: Natural draught air-cooled condenser	310
Figure XII.11: Closed recirculating indirect dry cooling tower	311
Figure XII.12: Cooling tower with discharge of cleaned flue gas.....	311
Figure XII.13: Cooling system with fixed concentration factor.....	312
Figure XII.14: Cooling system with sliding concentration factor.....	312
Figure XII.15: Decision-making logic diagram for the choice of the cooling system	313

ANNEX I THERMODYNAMIC PRINCIPLES

Potentially every change in an industrial cooling system can affect the process of heat exchange. When applying BAT to industrial cooling systems the consequences for the cooling process have to be assessed also using the thermodynamic principles.

I.1 Heat transfer in a shell and tube heat exchanger

In a counter flow design heat exchanger heat is transferred from a warm source to a cold source and the heat exchange can be described as follows:

$$Q = \Delta T_m (\ln) * U * A$$

Q	heat transferred per unit of time (W)
$\Delta T_m(\ln)$	logarithmic mean temperature difference LMTD (K)
U	overall heat transfer coefficient (W/m ² K)
A	heat exchanging surface (m ²)

The LMTD for a tube heat exchanger for counter current flow can be determined with the following equation:

$$\Delta T_m = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left\{\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}\right\}}$$

T ₁	temperature inlet warm process side (K)
T ₂	temperature outlet warm process side (K)
t ₁	temperature inlet cold side (K)
t ₂	temperature outlet cold side (K)

Heat transfer is promoted by a large surface area (A). For practical reasons there is a limit to the size of the surface area and in that case finned tubes are applied. Different sources of resistance (R) form another limitation to heat transfer. Generally, resistance R is expressed as its reciprocal value of the heat transfer coefficient 1/U and largely consists of the thickness of the wall between the two media and its conductivity and the state of fouling of the exchanging surface., but also the conductivity of the liquids is important accounting for the effect of different velocities on heat transfer.

Depending on the nature of the medium that flows through the heat exchanger, the heat-exchanging surface gets fouled. During use of the exchanger the resistance to the transfer of heat increases. For design purposes use is made of a pollution coefficient or fouling factor, that equals the maximum fouling depending on the nature of the medium or the coolant. In Table I.1 a few examples are given, where a lower fouling factor means a lower state of fouling of the heat-exchanging surface.

Table I.1: Fouling factors for shell and tube heat exchangers, indicative values [Van der Schaaf, 1995]

Medium	Fouling factors (W/m ² /K)
River water	3000-12000
Sea water	1000- 3000
Cooling water (cooling tower)	3000- 6000
Light hydrocarbons	5000
Heavy hydrocarbons	2000

Two thermodynamic principles are responsible for heat transfer:
 transfer through conduction (and convection),
 transfer through evaporation of a medium.

Heat transfer in a dry cooling system through conduction and convection is called *sensible heat transfer*. In a wet cooling system water is cooled down by direct contact with air. Sensible heat transfer to air in a dry cooling system can be described as follows:

$$Q = C_p * m_a * \Delta T$$

Q	heat transferred
C_p	specific heat capacity of air
ΔT	temperature range
m_a	mass of air

In a wet cooling system there is additionally heat transfer through evaporation, *latent heat transfer* and can be described with the following formula:

$$Q = m_a' * \Delta H$$

Q	heat transferred
m_a'	mass of air
ΔH	enthalpy range

With these equations the mass of air necessary for dry (m_a) and for wet (m_a') cooling can be compared:

$$\frac{m_a'}{m_a} = \frac{C_p * \Delta T}{\Delta H}$$

The ratio depends on the temperature range ΔT and for example with an increase in air temperature of 10 to 20°C this ratio is about 1:4. In this example it means that dry cooling needs four times more air than wet cooling. In other words, a larger heat exchange surface is required for dry cooling.

1.2 Approach

It is always important for a cooling system to provide sufficient driving force in order to achieve the transfer of heat. A minimal temperature difference is necessary between the incoming and the outgoing flow, i.e. the difference between the temperature of the process medium leaving the heat exchanger and the temperature of the coolant (water or air) that enters the heat exchanger, based on a counter flow design. This difference in temperature is called the *approach*. For wet cooling towers the approach is defined as the difference between the wet bulb temperature of the air and the temperature of the coolant leaving the tower. For dry cooling towers the approach is defined as the difference between the dry bulb temperature of the air and the temperature of the coolant leaving the tower.

A cooling system is designed to meet specifications throughout the year. Of course, when water and air temperatures are low, requirements are easily met. But higher temperatures can cause problems both in operations and for the environment. Through sustained lowering of process flow or sustained raising of the amount of cooling medium, the temperature specifications can eventually be met. There are, however, design limits to this approach. Systems are often

designed in such a way that specifications may be exceeded to a maximum of 5% or lower on an annual basis.

For water-cooling, a minimal approach over the heat exchanger of 3-5K is used. Lower values can be reached, but this requires a larger and therefore more expensive heat-exchanging surface. With more heat exchangers in a cooling system the different individual approaches have to be added up and the more exchangers the higher the approach. For a cooling tower an approach temperature of 7K to 15K is often used.

For condensers of power stations the term “thermal difference”, instead of approach, is used indicating the difference between the temperature of the condensate (steam) and the temperature at which the cooling water leaves the condenser. To calculate the temperature at which condensation can take place the terminal difference and the temperature increase of the cooling water have to be added. In case a cooling tower is used the approach of this tower will have to be added as well. For condensers practical experience shows minimal terminal differences in the range of 3-8K, also depending on the fouling factor [tm056, Caudron, 1991].

The minimum end temperature that can be achieved by a cooling system is determined by the approach of a cooling system and the design temperature, which depends on the climatic conditions of the site.

I.3 Capacity of a heat exchanger

The capacity or duty of a heat exchanger is the amount of heat that can be removed. The required heat transfer area of a cooling system is influenced by the different heat transfer capacities of the cooling media water and air, by sensible and latent heat transfer and by the driving force. The design has to consider material requirements, pollution, drop of pressure, flow speed, spatial restrictions and the volume to be cooled (fluid or vapour).

The total capacity of a cooling system is determined by adding up the duties (or capacities) of all heat exchangers:

$$Q_{tot.} = \sum Q_i [J/s \text{ or } W] \text{ with } Q_i = \text{duty of user } i$$

Due to its physical properties, water is an ideal heat carrier because of its high thermal capacity. It therefore only requires small heat exchange surfaces. The most effective transfer of heat is by evaporation of water. The latent heat (evaporation of water) compared with the specific heat capacity per ΔK at 30°C is about 630 times higher (Hv/C). The specific heat capacities of air, water, and evaporating water are shown in Table I.2.

Table I.2: Specific heat capacities of air and water

Air: (sensible heat transfer)	$C_p = 1005.6 + (16.03 \cdot 10^{-3} \cdot t)$	J/kg/K
Water: (sensible heat transfer)	C = 4192 C = 4182	J/kg at 10°C J/kg at 50°C
Evaporation of water: (latent heat transfer)	Hv = 2502 Hv = 2431	kJ/kg at 0°C kJ/kg at 30°C

I.4 Wet and dry bulb temperatures

The wet bulb temperature is the lowest temperature, to which air can be cooled down by adiabatic evaporation. The wet bulb temperature always lies below dry bulb temperature and depends on the measured temperature of the atmosphere, the humidity and the air pressure. The dry bulb temperature is the temperature of dry air and a very important factor in the design of air-coolers where sensible heat transfer is the underlying mechanism. Wet and dry bulb temperatures can be the same when ambient air is fully saturated.

For latent heat transfer the wet bulb temperature is the relevant temperature and it is theoretically the lowest temperature to which water can be cooled down. In case of wet cooling towers where the heat is transferred from the cooling water to the air mainly by evaporation, the wet-bulb temperature (i.e. the degree of saturation) is therefore an important design factor.

I.5 Relation between heat transfer and heat exchanging surface

A high heat transfer and driving force (approach) will require a relatively small surface, resulting in a compact and cost effective heat transfer concept. Because of the lower heat transfer capacity of air, dry cooling systems require much larger heat exchanger surfaces and driving force for the same cooling capacity. This larger heat exchange surface results in a higher demand on space and potentially higher investment costs against the absence of costs for water and cooling water treatment and the associated environmental effects.

The required heat exchanging area also depends on the medium that is to be cooled. As an example of this Table I.3 shows examples of heat transfer coefficients and the associated surface areas of various combinations of cooling water and process fluids.

Table I.3: Heat transfer coefficients and estimated surface areas A (m²) per MW and at 20K mean temperature difference for different industrial applications [Bloemkolk, 1997].

Hot process side	Heat transfer coefficient U (W/m ² K)	Estimated surface area ⁽²⁾ A (m ² per MW)
Fluids		
-organic solvent	250-750	200-600
-light oil	350-900	55-143
-heavy oil	60-300	166-830
-gases	20-300	166-2500
Condensing vapours ⁽¹⁾		
-water vapour	1000-1500	33-50
-organic vapour	700- 1000	50-71
-vacuum condensers (water)	500-700	71-100
-organics (partly condensing)	200-500	100-250
Notes:		
1. Starting point is $\Delta T(\ln)=20^{\circ}\text{C}$. Cooling with water. Calculation is based on overall heat exchange coefficient U and is meant as a comparison		
2. It should be taken into account that condensing vapours per kg drain off much more heat than cooling fluids; per MW heat discharged, relatively little vapour is therefore condensed.		
3. $Q=U.A.\Delta T(\ln)$		

As an example of what the above could mean two cases of installed cooling systems, one for dry cooling and one for evaporative cooling, are compared and the results are shown in Table I.4.

The dry cooling tower with a cooling surface diameter of 20% more, has only 47% of the capacity of the evaporative cooling system with an approach of 20 K compared to 12.6 K.

Table I.4: Effects of the cooling principle on the capacity, approach and cooling surface of a cooling system

[132, Eurovent, 1998]

Characteristics	Dry natural draught cooling tower	Wet natural draught cooling tower
Capacity	895 MW _{th}	1900 MW _{th}
Cooling surface diameter	145 m	120 m
Approach	20 K	12.6 K
Temperature (dry bulb / wet bulb)	14/ 10 °C	11/ 9 °C
Minimum end temperatures	34 °C	21.6°C

ANNEX II PRINCIPLE OF ENERGY SAVING THROUGH OPTIMISED COOLING

[tm059, Paping, 1995]

II.1 Subject

This Annex reviews a method of calculation of the potential energy conservation in the event that cooling is carried out at lower temperatures. The conservation is expressed in terms of primary energy, with a dimensionless unit of $\text{kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}$ per K temperature difference in the cooling process itself. The reduction in energy consumption is achieved by the use of inhibitors that have been subjected to a standard test method. These inhibitors ensure that the water coolers remain cleaner during the summer months. The direct and indirect energy use because of the choice of any of the six main cooling systems in a specific area can also be calculated with this dimensionless number.

II.2 Summary of conclusions

- In practice the variable temperature gradients across fouling are of the order of magnitude of **1 to 4K**.
- Colder cooling water in the immediate vicinity of the pipe wall results in energy conservation of **$3\frac{1}{2} \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}/\text{K}$** . This is equivalent with EUR 300 per MW_{th} cooling per annum per K temperature difference.¹
- The use of an efficient manner to combat the decrease in the heat transfer coefficient across fouling of heat exchangers results in a potential energy conservation for the European industrial sector pro ratio of this energy conservation factor. For every 100 GW_{th} cooling in Europe the energy conservation potential is **11 PJ_{th} per annum² per K**. This is equivalent to a reduction of the emissions of carbon dioxide of 700 thousand tons per annum per K for every 100 GW_{th} cooling in Europe.
- The involved energy consequences of the choice for each of the six main cooling systems are even more significantly. The difference in minimum attainable cooling water temperature for each of the six main cooling water systems can also be expressed in necessary energy expenditure to cool. The same “dimensionless” factor of $3\frac{1}{2} \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}/\text{K}$ can be applied for comparison of the design alternatives.
- The use of certain inhibitors in cooling water results in significant energy savings. These savings can exceed the primary energy content of the additives by several factors of ten. The environmental impact decreases in proportion to these savings.
- The energy conservation achieved by the use of inhibitors exceeds the costs of the relevant additives by a very wide margin.

An illustration of both effects, as discussed in this Annex, is presented in Figure II.1. A lower temperature of the coolant as well as the use of antifouling treatment will effect the heat transfer through the exchanger wall and the waterfilm.

¹ Based on \$14.7 /barrel; with an energy value of 41.87 GJth/ metric tonne oil equivalent and 7.45 barrels/ metric tonne oil equivalent, representing 5.51 barrels per kWth year or 81 EUR /kWth year (Ministry of Economic Affairs, Netherlands, oil/gas conversion table NOVEM).

² PJth = Petajoule thermal = 10^{15} Joule.

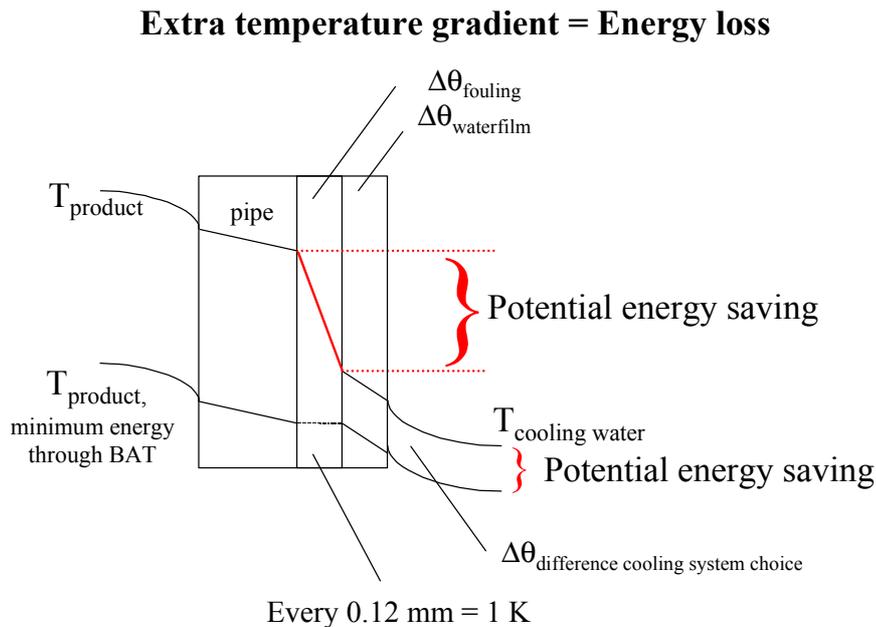


Figure II.1: Illustration of areas of potential energy saving by reduction of the temperature gradient through a fouling layer as well as by using colder cooling water influent

II.3 Introduction

Following many informal contacts a number of multinationals with branches in the Europe founded the industrial cooling-water group in 1991. They took the initiative to develop a standard test method for cooling-water inhibitors. The basis of this method was formed by the research carried out in the nineteen-eighties by DSM and Shell. The “Industrial Cooling-Water Project” was set up in the form of a joint project in which both the customers for and suppliers of these inhibitors participated.

The potential conservation in energy - in combination with the reduction in malfunctions of the production process achieved by the use of cleaner heat exchangers - was the most important motive for all partners to decide to invest in the project. This Annex discusses the issue in more detail.

The generation of shaft-power and/or electricity is always accompanied by cooling; this is necessary since only a maximum amount of useful energy can be extracted from a medium at any given ambient temperature. A proportion of this energy will pass through a number of process steps, and will ultimately reach the factory’s cooling-water system. The yearly averages³ for the standard direct energy consumption expended in cooling, expressed in terms of the ratio $KW_e / MW_{th, cooling}$ and assuming clean coolers in the summer months, is shown in the following table.

³ ASHREA Handbook, 1983 Equipment volume; American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta, USA, 1983.

Table II.1: Energy consumption in kW_{e} , electricity consumption / MW_{th} , cooling with clean heat exchangers

Cooling water-system	Energy consumption in kW_{e} , electricity consumption / MW_{th} , cooling with clean heat exchangers.		
	Σ	Cooling-water pump	Fan
Once-through cooling water	≈ 10 ; range 5 to 25	5 to 25	n/a
Circulation-cooling water with open wet cooling tower	≈ 15 ; range 10 to 25	5 to 20	5 to 10
Closed recirculating system	≈ 30 ; range 20 to 60	5 to 15	10 to 50

With an efficiency of the generation of electricity of 40%⁴ the above figures will need to be multiplied by 2.5 to express the energy consumption in terms of the primary energy carrier. The relative energy consumption required to cool by means of a water system then becomes dimensionless.

Moreover this energy consumption will increase in direct proportion to the (higher) temperatures of the cooling water and/or (increased) fouling of the coolers during the summer months. To calculate the indirect energy consumption in a more reliable way the previous tables in this document have to be linked. (The climatic conditions of the European countries mentioned in Table 1.6, and the technical and thermodynamic characteristics of the different cooling systems for industrial applications for a specific general site's climate mentioned in Table 2.1). The following table shows the lowest attainable water temperatures at inlet for the various cooling systems during the months of July and August in the Netherlands.

In practice virtually no tap water or groundwater is used for cooling. Moreover it is less desirable to make use of these kinds of water for this purpose, and the practice is gradually being discontinued. Consequently it is possible to state that once-through cooling-water systems located on the coast consume the least amount of primary energy.

Table II.2: Mean attainable lowest cooling water inlet temperatures for the various cooling systems during the months of July and August in the Netherlands.

Cooling system	Mean attainable min. temp.[°C]	Remarks; Netherlands as example
Once-through cooling: river	23	Local limitations of heat discharge by thermal limit values
Seawater along the coast	19	North sea 12 °C below mixing zone
tap-water	15	Cost price
groundwater	12	Limited stock
Open wet cooling tower	24	Wet bulb 19°C
Air cooling; (for comparison)	40 (product temp.)	Dry bulb 28°C

⁴ Central Bureau for Statistics, CBS, The Hague.

Moreover the energy consumption will increase when the heat exchangers are fouled. This sediment can be classified into microfouling and macrofouling. Blockages caused by shellfish and other solid sediment preventing the flow of water through the pipes may be regarded as macrofouling⁵. Microbial slime, scaling, deposits, that each in turn result in the formation of corrosion products on or in the warm cooling pipe, are all classified as microfouling⁶. A characteristic common to all the various forms of fouling mechanisms is the concomitant increase in the internal energy consumption.

This annex discusses the additional energy consumption per K extra temperature gradient in more detail as well as it presents the calculation basics for the direct and indirect energy consequences of .the choice of each of the six cooling systems.

II.4 Calculations

II.4.1 Principles

Industrial cooling installation	$\Delta \theta_{\log} = 10$	K	(= driving force)
	$\Phi_t = 5$	$\text{kW}_{\text{th}} \text{m}^{-2}$	(= heat flux)
consequently a	$U_{\text{total}} = 0.5$	$\text{kW}_{\text{th}} \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$	(= overall heat transfer coefficient)

Assume a deposit	$\delta_{\text{fouling}} = 0.12$	mm	(= variable resistance)
with a	$\lambda_{\text{fouling}} = 0.6$	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	(= thermal conductivity) ⁷

Heat transfer is conceived to be analogous to a series of resistances between the product to be cooled, the pipe wall, the laminar layer of water, and the variable degree of fouling:

$$\frac{l}{U_{\text{total}}} = \frac{l}{\alpha_{\text{product}}} + \frac{l}{\alpha_{\text{pipe wall}}} + \frac{l}{\alpha_{\text{water layer}}} + \frac{l}{\alpha_{\text{fouling}}}$$

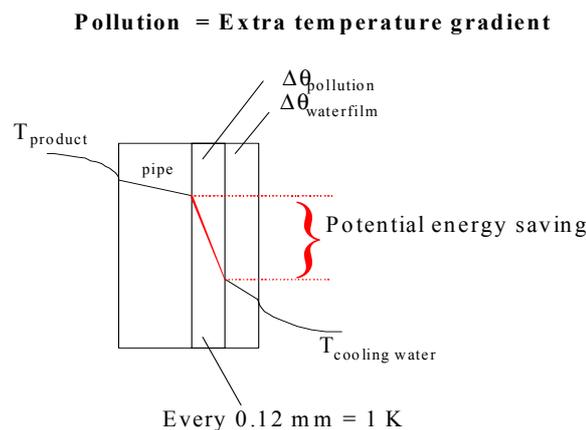


Figure II.2: Graphic representation of pollution factors responsible for extra temperature gradient over the pipe wall

⁵ Dutch experience with condenser maintenance, E.J. Sneek, H.A. Jenner, KEMA, Arnhem.

⁶ Practische waterbehandeling (Practical water treatment), Prof. J. Defrancq, de Sikkel Malle.

⁷ VDI-Wärmeatlas. Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, sechste erweiterte Auflage, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Relative heat transfer coefficients :

$$I = \frac{U_{total}}{\alpha_{product}} + \frac{U_{total}}{\alpha_{pipe\ wall}} + \frac{U_{total}}{\alpha_{water\ layer}} + \frac{U_{total}}{\alpha_{pollution}}$$

Relative temperature gradients :

$$I = \frac{\Delta\theta_{product}}{\Delta\theta_{log}} + \frac{\Delta\theta_{pipe\ wall}}{\Delta\theta_{log}} + \frac{\Delta\theta_{water\ layer}}{\Delta\theta_{log}} + \frac{\Delta\theta_{fouling}}{\Delta\theta_{log}}$$

Together :

$$\Delta\theta_{fouling} = \frac{U_{total}}{\alpha_{fouling}} * \Delta\theta_{log} = \frac{U_{total}}{\left[\frac{\lambda_{fouling}}{\delta_{fouling}} \right]} * \Delta\theta_{log} = \frac{0.5\ kW_t\ m^{-2}\ K^{-1}}{\left[\frac{0.6\ W\ m^{-1}\ K^{-1}}{0.12\ mm} \right]} * 10\ K = 1\ K$$

Consequently a

$$\Delta\theta_{fouling} = 1\ K$$

It is assumed that fouled water coolers in industrial installations have virtually no influence on energy consumption during the eight colder months of the year. This is based on the necessity of preventing certain process flows from being cooled to too low a temperature. Factories shall always keep at least one cooling-water pump in operation; a fan that has been stopped is incapable of a further reduction in its capacity. Savings can be achieved during a longer period of time in power stations. However, industrial cooling installations are usually deployed to cool a variety of products, and consequently exhibit a great variety in types of heat-exchange material. As a result of this diversity, industrial cooling installations have a need for an appropriate design of the use of inhibitors to accommodate their complex systems, in turn resulting in the utilization of the maximum benefits of the calculated energy conservation during only four months in a year. Consequently the calculations in this annex are restricted to this short period, and are applicable only to the cooling capacity of water systems used in industrial installations. The reason for these restrictions is that the interpretation of cooling-water additives would have been undermined if power stations had also been included in these calculations of the energy conservation.

In practice one or more “solutions” are used to remedy situations in which the design of the cooling system in combination with the inhibitor is incapable of supplying the required cooling capacity during the summer months. (These solutions are comprised of increasing the amount of cooling water and/or cooling air and/or the product temperature and/or the process pressure). All such solutions share the common characteristic of a concomitant increase in the internal energy consumption.

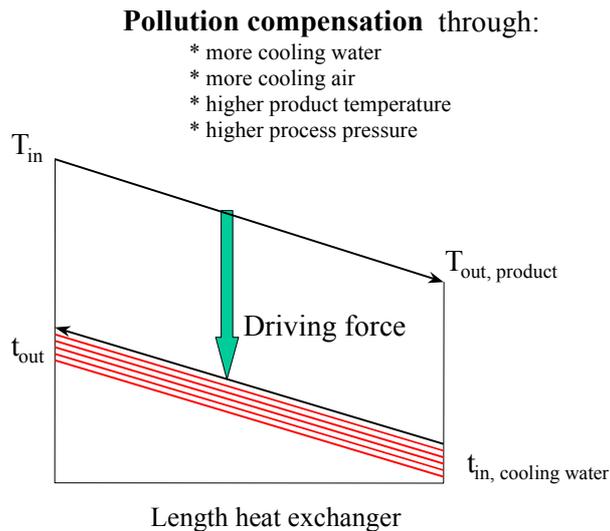


Figure II.3: Schematic representation of driving force over the length of a heat exchanger

In the following calculations the additional energy consumption resulting from microfouling is expressed in terms of a 1°C extra temperature gradient across the fouling. The formulae shown on the previous page indicate that an extra 1 °C temperature gradient already becomes apparent once a microbial slime layer has attained a thickness of no more than an order of magnitude of 0.12mm. This is also applicable to a layer of boiler-scale with a thickness of the same order of magnitude. The calculations assume that the heat transfer decreases linearly with the thickness of the fouling. The reduction in heat-exchanger capacity caused by the first 20% of blocked cooling pipes due to macrofouling can be compensated by increasing the required temperature gradient by 1°C. However every additional blocked cooling pipe will result in an exponential increase in the additional temperature gradient required.

Cooling tower discharging 10 MW _{th}	Φ	=	1000 m ³ h ⁻¹	circulation flow rate
	$\Delta \theta$	=	8.6 K	cooling water inlet/outlet
	$\Delta \theta_{\log}$	=	5.0 K	cooling tower cooling limit

II.4.2 Quantity of cooling water

The following is an example of a calculation in which a 1K extra temperature gradient across microfouling is, in practice, compensated by an increase in the number of cooling-water pumps. The temperature and flow-rate of the product and the quantity of heat removed from the product remain constant. The average pressure drop is adjusted to 3.7 bar.

The capacity will be doubled by the parallel operation of two identical centrifugal pumps only in the event of a purely static pressure. However every successive cooling-water pump brought into operation in a cooling-water system will result in a change of the dynamic head characteristics. As a consequence of these changes the nominal capacities of the pumps may not be totaled. The resultant reduction in the capacity requires increased power consumption⁸.

The removal of an equal quantity of heat requires the circulation of an extra 10% of cooling water (= 20% extra pump energy) to compensate for the extra 1 K temperature gradient:

⁸ Pompen (Pumps), L.W.P. Bianchi, Stam, Culemborg.

More cooling water >> increased pumping power

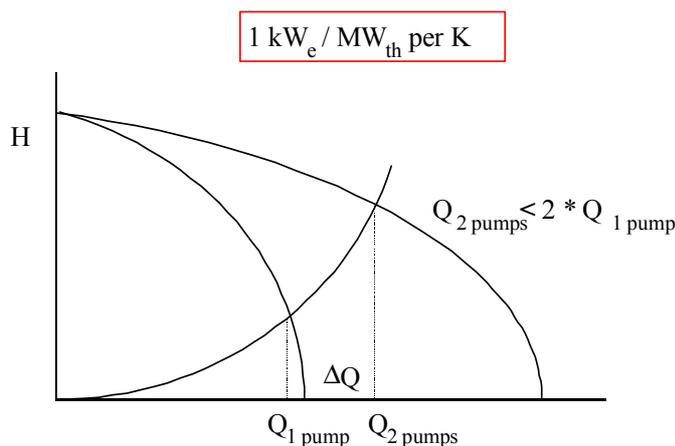


Figure II.4: Number of cooling water pumps and change of cooling water low due to fouling

$$\begin{aligned}
 W \text{ is } \frac{\Delta\varphi * P}{\eta} &= \frac{20\% * \Phi * [\rho * g * \Delta H]}{\eta} \\
 &= \left(\frac{20\% * \frac{1000 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s/h}} * \left[1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 37 \text{ m water gauge} \right]}{0.7} \right) \\
 &= \frac{20 * 10^3}{0.7} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} * \frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \\
 &= 30 * 10^3 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right] = 30 \text{ kW}_e \text{ per } 10 \text{ MW}_{th} \text{ cooling.}
 \end{aligned}$$

Corrected for 4 summer months per year:

on an annual basis 1 kW_e / MW_{th} per K

II.4.3 Quantity of cooling air

The same cooling tower of 10 MW_{th} is used, but the removal of the same quantity of heat is now achieved by compensating for the 1 K extra temperature gradient across the microfouling by increasing the quantity of cooling air the fans pass through the cooler. The power consumption of the fan increases from 54 kW_e to 83 kW_e per 10 MW_{th}⁹:

⁹ Calculation from POLACEL, Doetinchem (NL), and practical experience with variable pitch in combination with start/stop of one or more fans.

Corrected for 4 summer months per year:

on an annual basis $1 \text{ kW}_e / \text{MW}_{\text{th}}$ per K

Conclusion: an increase of either the amount of cooling air or the cooling-water flow rate requires the same annual amount of extra energy.

II.4.4 Product temperature; gas volume

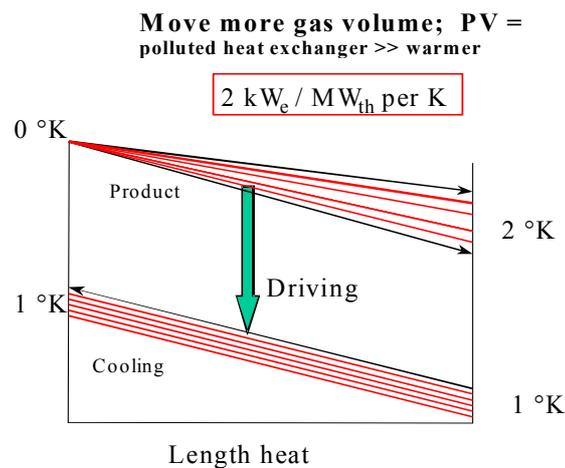


Figure II.5: Change of temperature gradient of product gas (moles) in a counter flow heat exchanger due to fouling

The inlet temperature of the product is assumed to be constant. This means that the decrease in the outlet temperature of the product discharged from a fouled heat exchanger will be less than that from a clean heat exchanger. The temperature gradient across the fouling will be virtually uniformly distributed along the entire length of the heat exchanger. As a result of these two effects the reduced temperature drop of the product at the outlet of the fouled heat exchanger will be twice the magnitude of the temperature gradient across microfouling on the waterside of the heat exchanger. A pure countercurrent heat exchanger in which the energy content per K temperature change of the cooling-water flow rate (= in fact the specific heat of a quantity) is greater than that of the product to be cooled will exhibit convergent temperature profiles at the outlet side of the heat exchanger. The reduced temperature decrease on the product-outlet side caused by microfouling on the waterside will consequently be less than 2 °C per K temperature gradient across the fouling. Conversely, energy content per K temperature change of the cooling-water flow rate smaller than that of the product to be cooled will result in divergent temperature profiles at the outlet side of the heat exchanger. The reduced temperature decrease on the product-outlet side caused by the same microfouling on the waterside will then be in excess of 2 °C per K temperature gradient across the fouling on the water-side.

Under conditions of adiabatic compression, at a constant product mass and compression ratio, the removal of the same quantity of heat is now achieved by compensating for the extra 1K temperature gradient across the microfouling by increasing the final temperature of the product to be cooled by 2 °C .

The formula for the same cooling tower of $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ will than be:

$$W = \int_{P_{in}}^{P_{out}} V * dP = \varphi_v * R * T_{in} * \frac{\kappa}{\kappa-1} * \left[\left(\frac{P_{in}}{P_{out}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa * \eta_{pol}}} - 1 \right]$$

= compressorwork is a linear function of the inlet- gastemperature.

= per 2 °C product temperature increase $\rightarrow \frac{T_{in+2^\circ C}}{T_{in}}$ extra compressor power consumption

$$= \left(\frac{273 + 27}{273 + 25} \right) - 1 = 0.67 \text{ percent more compressor work per } 2^\circ C$$

Corrected for 4 summer months per year:

on an annual basis 2 kW_c / MW_{th} per K

Conclusion: the displacement of volume is more expensive than mass transport.

II.4.5 Product pressure; cooling compressor

For the same cooling tower of 10 MW_{th}, where, for the same mass flow rate, the removal of the same quantity of heat is now achieved by means of product condensation (for example, for the benefit of a refrigerating machine based on adiabatic compression and expansion). This will raise the process-pressure of the product to be cooled so as to compensate for the 1K extra temperature gradient across the microfouling:

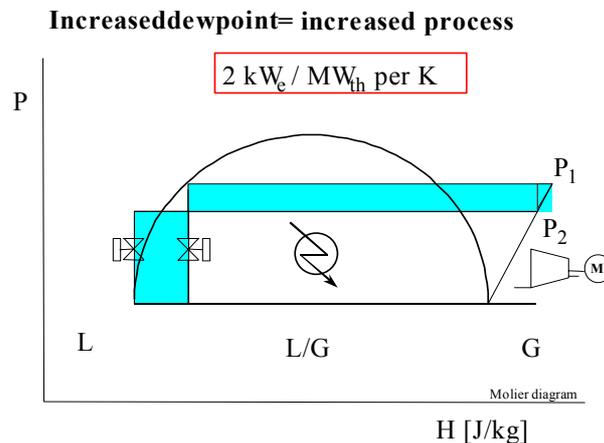


Figure II.6: Representation of increase of process pressure to compensate temperature increase due to fouling

Assumptions:	propene-refrigerating machine	
	inlet and outlet pressures	1.9 and 13 bar respectively
	boiling points	- 33.6 and 28.5 °C respectively
	pressure-temperature gradient	0.33 bar K ⁻¹
	compressor and turbine efficiency	0.66

$$\text{Cooling factor Carnot Cyclus} = \left[\frac{\theta_{in}}{\theta_{in} - \theta_{out}} \right]_{in} = \left[\frac{273.15 - 33.64}{28.50 - (-33.64)} \right]_{at 28.5^\circ C} = 3.852$$

$$\text{Cooling factor difference} = \frac{\left[\frac{\theta_{in}}{\theta_{in} - \theta_{out}} \right]_{in}}{\left[\frac{\theta_{i,n}}{\theta_{in} - \theta_{out}} \right]_{in+1^\circ C}} = \frac{\left[\frac{273.15 - 33.64}{28.50 - (-33.64)} \right]_{at 28.5^\circ C}}{\left[\frac{273.15 - 33.64}{29.50 - (-33.64)} \right]_{at 29.5^\circ C}} = \frac{63.14}{62.14} = 1.0151$$

$$\text{Extra compressor power cons.} = \frac{1 - 1.0151}{3.852 * 0.66} = 0.594 \text{ percent per K}$$

Corrected for 4 summer months per year:

On an annual basis 2 kW_e / MW_{th} per K

Conclusion: “Frigories” are twice as expensive as calories.

II.5 Total potential energy conservation per °C colder cooling-water boundary layer

II.5.1 Efficiency of power generation

The efficiency of the generation of electricity in the Netherlands is 40%¹⁰.

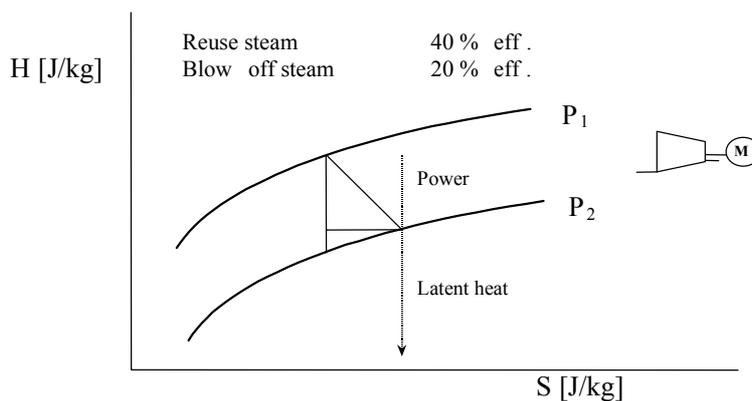


Figure II.7: Efficiency power generation for pumps, fans and compressors

The generation and consumption of steam in a petrochemical complex are usually in balance during the autumn and the spring. In the winter high-pressure and medium-pressure steam will be diverted to the low-pressure steam network. Conversely, in the summer some of the low-pressure steam will be disposed of by blowing it off to the atmosphere and/or condensing it in

¹⁰ Central Bureau for Statistics, CBS, The Hague.

coolers. Moreover a number of steam pumps will be shut down, and some electric motors will be started up, so as to compensate for the shift in the energy balance.

Steam turbines are also used as auxiliary turbines to power refrigerating machines. In such situations the extra low-pressure steam produced and exhausted during the summer (the additional amount generated as a result of fouled product condensers) will be disposed of. The extra energy consumed by the refrigerating machine will then be accompanied by extra energy losses, which will be a magnitude of 5 larger. The enthalpy of superheated high, medium and low-pressure steam is only one-fifth higher than the latent heat of water.

The Dutch Industry uses 20% of the total cooling capacity for compressor gas and refrigerated cooling¹¹. Half of this refrigerated cooling is carried out by means of (auxiliary) steam turbines. “Frigories” (or “negative” calories) are more expensive than calories, and volume displacements are more expensive than mass transport. In practice this means that during the summer months preference will be given to starting up cooling-water pumps and fans earlier, and shutting them down later, rather than increasing the process pressures. Furthermore, in the first instance 80% of the capacity lost by inefficient cooling due to fouling will be compensated by means of start/stop commands to motors.

Consequently the average increase in primary energy per K temperature gradient is:

$$\left(\frac{80\% * 1}{0.4}\right) + \left(\frac{10\% * 2}{0.4}\right) + \left(\frac{10\% * 2}{0.2}\right) = \underline{\underline{3.5 \text{ kW}_{\text{th}} / \text{MW}_{\text{th}} \text{ per K}}}$$

Note: The above expressed energy factor can be calculated for other European countries as well, if the relative cooling capacity for compressor gas and refrigerated cooling is known. It is expected that the outcome will range between 3 and 4 kW_{th} / MW_{th} per K, since the power generation efficiency in Europe is also around 40%.

II.5.2 Total water used for cooling in the Dutch industry (excl. power plants)

Numbers regarding cooling water consumption, have to be available to calculate the absolute direct and indirect energy usage as well as the absolute environmental impact of each of the six main cooling systems on a European scale. In the Netherlands, these statistical data were available with a spread over the last decades. The majority of the water consumed by the national industry (= 3.1 * 10⁹ m³ per annum) is destined for use in cooling. The total amount of water used for cooling purposes amounts to **2.7 * 10⁹ m³ per annum** (for power plants 8.3*10⁹ m³ p.a.). Of this water the majority is fresh, salt or brackish surface water. The original statistical sources differentiate between water used for general purposes and for cooling. However this data makes no differentiation between the proportions of water used to feed recirculating and once-through cooling-water systems. Calculations indicate that the amount of heat removed by water systems in the Dutch industrial sector is of the order of magnitude of **180 PJ_{th} per annum**¹² (= 5.7 GW_{th}¹³) and equally partitioned between cooling towers and once through systems.

¹¹ EST Consult B.V., Woubrugge, December '90, NESR003. Marktonderzoek naar het elektriciteitsverbruik en de mogelijkheden van elektriciteitsbesparing in de Nederlandse industrie (Market research into the electricity consumption of the Netherlands industry, and opportunities for electricity conservation).

¹² CBS, Heerlen: key figure K-261/1991; water provisions for companies 1991, and every five years previously from 1957. CBS, Voorburg; key figure K-117/1992-1 & -2; Dutch energy consumption, annual figures 1992 and the prior decades from 1972.

¹³ Also verified with data from:

- Emissie Registratie warmte via water E 260 tot en met de 6^e ronde (registration of heat emissions via E260 water up to and including the 6th round (for the most important companies from an environmental perspective) in the 1990's); RIVM, Bilthoven.
- Author's survey of the top ten companies in the Netherlands; data RIZA; Lelystad, Netherlands.

II.5.3 Total potential energy conservation per °C colder cooling-water boundary layer

The figure of 180 PJ_{th} per annum, removed by cooling-water systems, in combination with an average extra annual energy consumption of the order of magnitude of 3½ KW_{th} / MW_{th} per °C colder cooling-water boundary layer, would result in a potential energy conservation for the Dutch industrial sector amounting to:

0.63 PJ_{th} per annum per °C

Or in financial terms:

EUR 1.6 million per annum per °C

Assuming that the Dutch situation represents only 5% of the European industrial production capacity where cooling is involved, it can be estimated that the cooling capacity in Europe applied by industry is in the magnitude of 120 GW_{th}, where power plants cool 200 GW_{th}. For the whole cooling sector in Europe the potential energy conservation would then amount to:

35 PJ_{th} per annum per °C

Or in financial terms:

EUR 100 million per annum per °C

II.6 Examples of calculations for the relative conservation of energy and reduction of the environmental impact achieved by the use of inhibitors

II.6.1 The contribution made by oxidation

The following is an example of the use of inhibitors based on oxidants such as sodium hypochlorite (because this is a relatively well-known degradable additive):

Assumptions:

Basis:

electrolyte (or bulk purchase)	2.2	KWh _e / kg chlorine equivalent
- production efficiency	0.7	W _e / W _e
- thermal efficiency	0.4	W _e / W _{th}
- concentration	15	%

cooling installation

- thickness of slime layer	0.5	mm (no inhibitor in summer)
- boundary-layer temperature gradient	4	K
- average "conservation ratio"	3.5	kW _{th} / MW _{th} /K

use of inhibitor

- influent $\approx 1.0 \text{ mg l}^{-1}$, stoichiometric oxidation,
- effluent $\leq 0.1 \text{ mg l}^{-1}$, active chlorine
- intermittent chlorination, such as 4 hours in use/out of use
- 1% conversion of dosed chlorine equivalent to halogenated by-products also expressed as chlorine equivalent which amounts to approximately to 3% of brominated hydrocarbons [tm160, Bijstra, 1999].

II.6.1.1 Once-through cooling system

usage of hypochlorite	300	kg Cl/MW _{th}	[tm160, Bijstra, 1999] ¹⁴
costs of hypochlorite	114	EUR / metric tonne in tank truck	

Consequently both the energy conservation ratio¹⁵ and the performance-price ratio of the inhibitor are of overriding importance. The use of this oxidant achieves environmental energy conservation several factors of tens in excess of the primary energy content of the inhibitor.

The environmental energy yield of this inhibitor is more than a factor 10 higher than the financial conservation¹⁶.

The use of hydrogen peroxide or ozone will result in a decrease of the above-mentioned ratios.

¹⁴ Based on chlorine demand in the north-west European delta.

¹⁵ The energy conservation ratio is a dimensionless number that compares the energy conservation achieved by the use of the inhibitor with the primary energy content of the relevant additive.

¹⁶ The financial conservation ratio is a dimensionless number that compares the financial conservation achieved by the use of the inhibitor with the cost of the relevant additive.

Energy conservation ratio =

$$\left(\frac{8760 \text{ hr/yr}}{300 \text{ kg "as chlorine" per annum} / MW_{th}} \right) * \left(\frac{3.5 \text{ kW}_{th} / MW_{th} \cdot K * 4K}{\left(\frac{2.2 \text{ kWh}_e / \text{kg chlorine}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right) = 52 \frac{J_{output}}{J_{input}}$$

Financial conservation ratio =

$$\left(\frac{14 \text{ kW}_{th} / MW_{th}}{2 \text{ mt hypochlorite} / \text{year per } MW_{th} \text{ cooling}} \right) * \left(\frac{\text{EURO } 81 / \text{kW}_{th} \text{ per year}}{\text{EURO } 114 / \text{mt}} \right) = 5 \frac{\text{EURO}_{output}}{\text{EURO}_{input}}$$

Note: mt = metric tonne(s)

The dimensionless environmental energy ratio can be supplemented by the calculation of an additional relative environmental load mass ratio. This also indicates the energy conservation achieved by the use of inhibitors, but now expressed in terms of the ratio of the reduction in the emissions of carbon dioxide to the production of unwanted precursors as a result of oxidative side reactions.

Environmental mass ratio =

$$52 \frac{J_{output}}{J_{input}} * \frac{\left(\frac{1.94 \text{ kg CO}_2 / \text{Nm}^3 \text{ natural gas}}{31.6 \text{ MJ}_{th} / \text{Nm}^3 \text{ natural gas}} \right)}{\left(\frac{3\% \text{ conversion to halogenated ones}}{\left(\frac{2.2 \text{ kWh}_e / \text{kg chlorine} * 3.6 \text{ MJ}_{th} / \text{kWh}_{th}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right)} = 3000 \frac{\text{CO}_2}{\text{C} - \text{X}}$$

However the quantity obtained from this formula is not entirely dimensionless. The environmental mass ratio can be introduced for the estimation of the total environmental effect ratio, for instance, by introducing the effect ratio of specific chlorinated by-products in seawater, such as bromoform (84%), dibromo-acetonitril (10%) and trihalomethanes, such as dibromochloromethanes and bromodichloromethanes (5%) [tm157, Jenner et al, 1998].

Their unwanted formation, which is linear with the amount of chlorination of the system, can then be compared with the resulting reduction in the amount of energy used, when both are expressed in units of CO₂ and its corresponding ozone depleting effect.

II.6.1.2 Open recirculating system

water volume; basin + pipes	50	m ³ / MW _{th}
metering (for 3 mg/m ³)	1.0	l h ⁻¹
metering time, <u>dis</u> continuous	1.0	h / day
costs of hypochlorite	160	EUR / metric ton in 1 m ³ multi box containers

For continuous dosage regimes and/or less adequate process controlled dosages approximately 3-times more chlorine-equivalents per MW_{th} are required.

Energy conservation ratio =

$$\left(\frac{1 MW_{th} h * 24 \text{ hours/day}}{1 l \text{ hypochlorite/day}} \right) * \left(\frac{3.5 kW_{th} / MW_{th} \cdot K * 4K}{\left(\frac{15\% * 2.2 kWh_e / kg \text{ chlorine}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right) = 285 \frac{J_{output}}{J_{input}}$$

Financial conservation ratio =

$$\left(\frac{14 kW_{th} / MW_{th}}{365 l \text{ hypochlorite/year per } MW_{th} \text{ cooling}} \right) * \left(\frac{EURO 81 / kW_{th} \text{ per year}}{EURO 160 / \text{metric tonne}} \right) = 20 \frac{EURO_{output}}{EURO_{input}}$$

The energy conservation ratio and the performance-price ratio of the same oxidant used in a circulation system are higher than those for a once-through cooling system. Conversely the consumption of primary energy required to cool by means of a recirculating system is higher than that of a once-through cooling system. Consequently most of the largest power stations are located in the vicinity of the coast.

The relative environmental load mass ratio can also be calculated for this system.

Environmental mass ratio =

$$285 \frac{J_{output}}{J_{input}} * \frac{\left(\frac{1.94 \text{ kg } CO_2 / Nm^3 \text{ natural gas}}{31.6 \text{ MJ}_{th} / Nm^3 \text{ natural gas}} \right)}{\left(\frac{3\% \text{ conversion to halogenated hydrocarbons}}{\left(\frac{2.2 kWh_e / kg \text{ chlorine} * 3.6 \text{ MJ}_{th} / kWh_{th}}{0.7 W_e / W_e * 0.4 W_e / W_{th}} \right)} \right)} = 16000 \frac{CO_2}{C - X}$$

Once again, the mass ratio between the required reduction of emissions of carbon dioxide and the unrequired emission of halogenated hydrocarbons of the same oxidants – but now applicable to a recirculating cooling system – is higher than that of a once-through cooling system. Conversely, the consumption of primary energy by a cooling-tower system is higher than that of a once-through cooling system.

II.7 Examples of calculations of the relative savings in energy with colder cooling water

II.7.1 Coastal water versus cooling towers

<i>Assumptions</i> ¹⁷ : -influent temperature	coastal water	19	°C
	cooling tower	24	°C
effluent pressure	once-through cooling system	1	mwg
	cooling tower system (height of tower + nozzle)	14	mwg

Raising the cooling water to an additional height and then spraying it through the nozzle results in an additional power consumption of the pump per MW_{th} heat removed by means of a cooling tower system:

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\Delta\varphi * P}{\eta} = \frac{\varphi * [\rho * g * \Delta H]}{\eta} \\
 &= \frac{\frac{100 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600 \text{ s} / \text{h}} * \left[1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 13 \text{ mwg} \right]}{0.7} \\
 &= \frac{3.6 * 10^3}{0.7} * \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} * \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \right] = 5 * 10^3 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right] = 5 \text{ kW}_e \text{ per MW}_{th} \text{ cooling}
 \end{aligned}$$

The power consumption of the pump expressed in terms of primary energy throughout the entire year is
The cooling water is on average 5 °C warmer, so

12.5 kW_{th} per MW_{th} cooling
17.5 kW_{th} per MW_{th} cooling

Together, a difference in the energy consumption of

30.0 kW_{th} per MW_{th} cooling

Consequently in the light of the benefits to energy conservation large cooling systems are, in practice, preferably built in the form of once-through cooling systems on the coast.

II.7.2 River water versus cooling towers

The temperature difference of a once-through cooling system, supplied with river water, in comparison with a cooling tower is in the order of magnitude of about 1 K. Together with the maintenance of the necessary pressure difference across the cooling water the total difference in energy consumption amounts to **16 kW_{th} per MW_{th} cooling**.

¹⁷ Onderzoek industrieel waterverbruik (Survey of industrial water consumption), final report, F.C.A. Carner, Krachtwerktuigen Amersfoort, 1992.

Samenwerkende Rijn- en Maas waterleidingbedrijven 1980 – 1992, RIWA, Amsterdam.

Jaarboeken monitoring Rijkswateren (State Water Monitoring Annuals) from 1980.

II.7.3 Groundwater versus cooling tower

The temperature difference of a once-through cooling system supplied with groundwater in comparison with a cooling tower is the largest, i.e. 12 K. The total difference in energy consumption required for cooling is then **42 kW_{th} per MW_{th}** cooling. It was assumed that the power consumed by a pump that pumps up groundwater is of the same order of magnitude as the power required to maintain a cooling-tower effluent pressure difference. However, the limited availability of groundwater restricts the use of this way of energy conservation.

II.8 Appendix environmental impacts

Table II.3: Conservation ratios for once-through and recirculating cooling system

Type of cooling system	Energy- Conservation ratio $J_{\text{output}} / J_{\text{input}}$	Financial- Conservation ratio $\text{EUR}_{\text{output}} / \text{EUR}_{\text{input}}$	Mass- Ratio environment $\text{CO}_2 / \text{C-X}$
Once-through cooling system	52	5	3000
Open recirculating cooling system	285	20	16000

Table II.4: Energy conservation with potential colder cooling water source

System comparison	kW _{th} per MW _{th}	Remarks
Coastal waters versus cooling towers	30	geographically specified
Riverwater versus cooling towers	16	local thermal burden
Groundwater versus cooling towers	42	limited stock

The above-presented numbers can be used to show the outcome for specific areas in Europe, like for instance a high-industrialised area like the Netherlands. The replacement of all industrial cooling towers by once-through cooling systems supplied with river water would result in a national energy conservation of 91 PJ_{th}¹⁸ * 16 kW_{th}/MW_{th} = 15 PJ_{th} per annum (equivalent to a reduction of the emission of carbon dioxide of 93000 metric tonnes per annum). This would require the availability of 85 m³/sec river water throughout the entire year. Conversely, only those cooling systems located at a relatively small distance from a river would come into consideration for such a replacement; the distances otherwise involved would negate the energy advantages offered by the use of this source of water. So it isn't surprising that most industries and power stations are located nearby rivers and coastal areas, emphasising the importance of a proper cooling design and location choice.

¹⁸ Water symposium 1995; syllabus 43, Nederlands Corrosie Centrum Bilthoven.

ANNEX III SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGERS FOR INDUSTRIAL ONCE-THROUGH COOLING SYSTEMS AND THE OCCURRENCE OF LEAKAGE

The design of the heat exchanger is extremely important, as it is the key element of a cooling system, where the exchange of heat takes place. From an environmental point of view it is there, where leakage from process substances to the coolant can occur. In once-through cooling systems the relevance of a well designed, operated and maintained heat exchanger is obvious. From a preventive approach attention should be paid to the issues presented in this Annex before considering a move towards an indirect (secondary) system. This Annex gives a summary of a number of important issues to take into account in the design of the commonly used shell and tube heat exchanger to avoid environmental problems [tm001, Bloemkolk, 1997]

The shell and tube heat exchanger consists of a shell, a great number of parallel tubes, tube plates (tube sheets) baffles and one or two heads. Heat exchange between the media takes place by pumping the one medium through the tubes and the other medium around the tubes. As this happens the heat is transported through the tube wall. Diagonally on the tubes are baffles. The baffles ensure a better transfer of heat (through increased turbulence of the flow around the tubes) and support the tubes. The shell & tube heat exchanger is reproduced in a picture below.

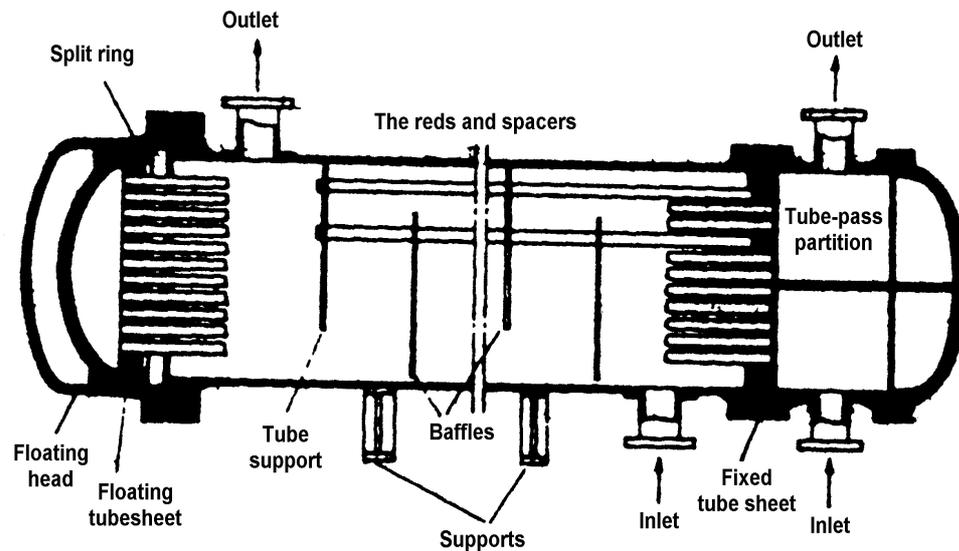


Figure III.1: Major components of shell & tube heat exchanger [tm001, Bloemkolk, 1997]

There are a great many different types of shell & tube heat exchangers. By making the right choice from the design parameters below, the design can be adapted to the specific process and maintenance requirements:

- the type of shell and head
- the type of tube (straight or U-shaped, with or without fin)
- the size of the tube (diameter and length)
- the distance between the tubes (pitch) the configuration (lay-out)
- the number of baffles the type of baffle
- the distance of the baffle (baffle pitch)
- the number of passes through the tubes (tube passes)
- the flow pattern (counter flow, concurrent flow)
- either mechanical or not, cleaning either with (high pressure) water or not

The Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA) has drafted a nomenclature for the various types of shell & tube heat exchangers. TEMA has also drafted mechanical design guidelines.

The advantages and disadvantages of the shell & tube heat exchanger are listed below.

Advantages:

- available for all applications
- available in almost all materials
- wide range of flows and capacities (duties)
- sturdy, safe construction
- good thermal and mechanical design methods available

Disadvantages

- relatively expensive per m² heat exchanging surface area
- not optimal for heat transfer
- cleaning (drawing the tube bank) of the shell side is laborious

Because of the sturdy and safe construction of the shell & tube heat exchanger, refineries prefer this type of heat exchanger. The choice of this type of shell & tube heat exchanger for once-through systems is explained further below.

III.1 Design of the shell & tube heat exchanger for one through systems

As a rule, the shell & tubes of the TEMA-type AES are used for once-through systems. The cooling water flows through the tubes and the process medium through the shell. AES refers to the codes used to describe the different options for shell and tube heat exchangers (Figure III.2)

Allocation media

Because the tube side of the shell & tube heat exchanger can be cleaned easier and better than the shell side, heavy fouling media are allocated to the tube side. Because of the use of corrosion-resistant materials for corrosive cooling water, it is also more economic to have the cooling water flow on the tube side.

A-Type of front end head

Opening the shell & tube heat exchanger for inspection and maintenance is easiest with an A-type 'front end head', because the connecting tubes do not need to be dislodged when opening this type of head. For this reason, this type of head is almost always used for heat exchangers with a "polluting" medium on the tube side.

E-Type of shell

The choice for the type of shell depends on the process requirements for the medium on the shell side. Usually, the E-type is chosen ("one-pass-shell").

S-Type of rear end head

The choice of the type "rear end head" is determined by factors relating to:

- the need to clean (mechanically or with water) the shell side
- the need to clean (mechanically or with water) the tube side
- quality of the cooling water (corrosive, scaling, etc.)
- occurrence of thermal expansion between shell and tube material
- need for counterflow

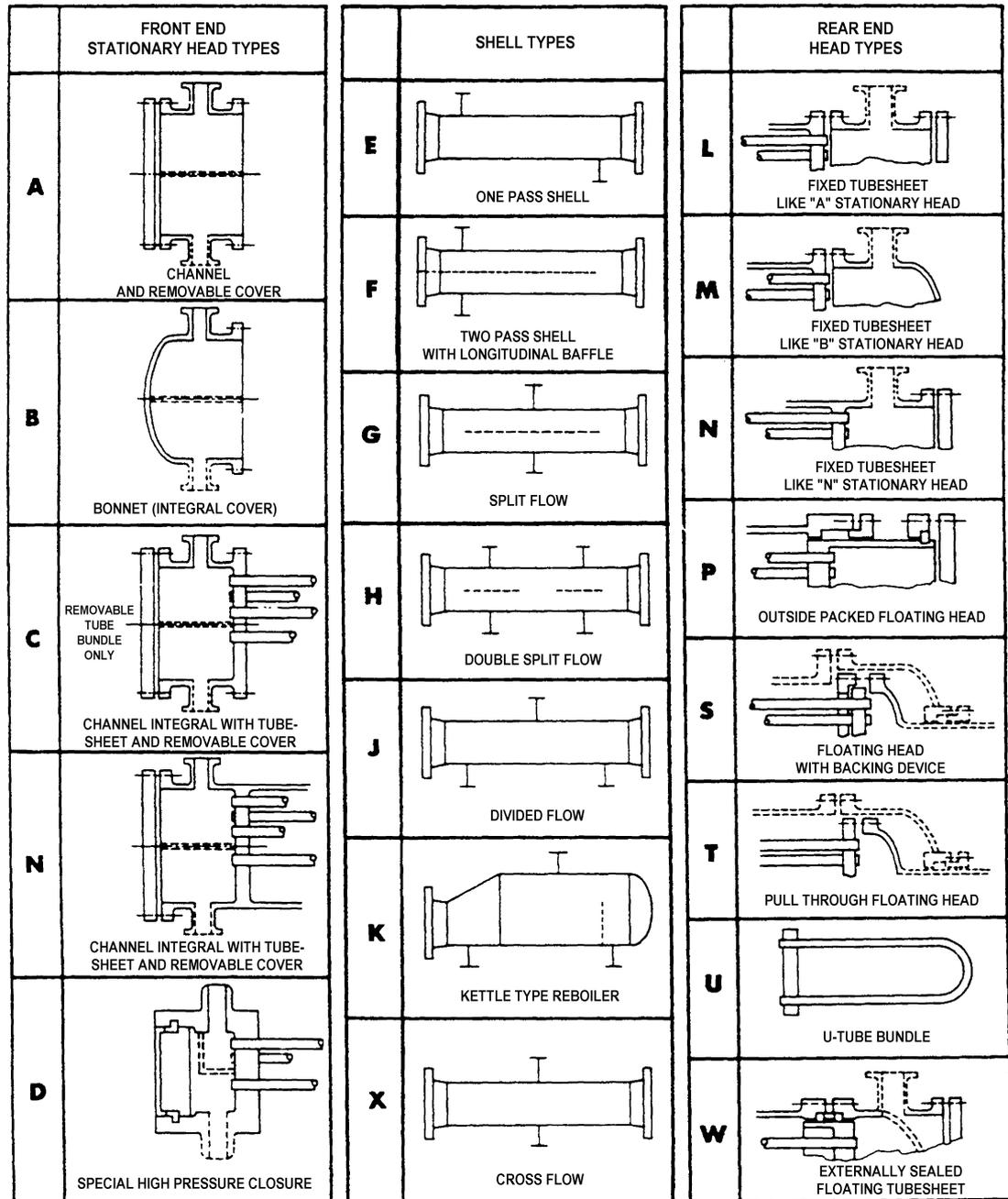


Figure III.2: Heat exchanger nomenclature (Standards of the tubular Exchanger Manufacturers Association)
[tm003, Van der Schaaf, 1995]

Usually the S-type ('floating head' type) is chosen because this type can be cleaned mechanically (or with water) on both the shell and the tube side. There are also no problems with this type in the event of thermal expansion differences between the shell and tube material. However, the S-type is the most expensive type of 'rear end head'.

III.2 Leakage in shell & tube heat exchangers

Leakage, and with it contamination of cooling water by the process medium, occurs in shell & tube heat exchangers in most cases as a result of flaws in the tube-tube plate connection, flaws in the tube itself and flaws in the flanged connection that separates both flows ('floating head'). Leakage can occur primarily as a result of:

1. poor design (about 30% of the cases)
2. poor manufacturing
3. operation that is not within the limits of the design (50-60%)
4. poor inspection and maintenance

1. Poor design

Because a wrong or poor design irrevocably leads to leakage, during the design phase careful thought must be given to the design parameters below:

- choice of material
- choice of tube-tube plate connection (rolled or welded)
- choice of packing type
- type of detail on packing faces
- design of the flanges (thickness, no rotation)
- design of the tube plate (thickness, no bending)
- design of tube support

In this consideration, attention should be given to the 'operating' conditions. They are:

- occurrence of vibration
- thermal expansion differences
- flow division
- flow speeds

Poor design also includes wrong design of flow speeds and design based on incorrect data.

2. Poor manufacturing

A good design, however, is not sufficient to prevent leakage. Poor manufacturing can also lead to leakage during operation of the heat exchangers. During manufacturing, the following aspects play a role when it comes to prevention of leakage:

- tightening procedure of the flange bolts
- smoothness of the treatment of the packing surfaces
- tube hole diameter and tolerance in tube plates and baffles
- rolling or welding procedure for tube-tube plate connection

3. Operation that is not in keeping with the design

Operations that differ from the operating conditions for which the heat exchanger has been designed can lead to damage and ultimately to leakage in the heat exchanger.

Different operation could be:

- thermal shocks
- 'upset' condition such as over-pressure and/or too high temperature
- increased or reduced through-flow of flows
- vibrations
- mussels in tubes (which have become detached from the cooling water tube) combined with vibrations

In addition, incorrect treatment can occur during maintenance, for instance during cleaning of the tubes with steam or warm water (damage as a result of thermal expansion).

4. *Poor inspection and maintenance*

During periodic maintenance, the heat exchanger is opened up and the tube bank is pulled, cleaned and inspected. Inspection aimed at detecting and/or preventing leaks includes control of:

- corrosion and/or erosion on the inside and outside of tubes and tube-tube plate connection
- corrosion of packing faces of the flanges
- size of tube holes in baffles (has the diameter of the openings increased in size?)
- reduced wall thickness of the tubes (special attention must be given to tube ends, tubes located at baffles and tube corners)
- bent, twisted or torn off tubes
- tubes pressing against each other, loose tubes
- bent tube plates
- small cracks (or perforations) in tubes and welded tube-tube plate connection
- smoothness and condition of packing faces

Periodic maintenance always ends with a water pressure test, whereby parts of the heat exchanger are pressurised to verify that the heat exchanger is still suitable to operate under the desired pressure levels. In this way, too, the tubes, tube-tube plate connections and flange connections are tested for leaks. To detect leaks, more accurate testing methods are also available. Air ('air and soapy water' test) or helium is used. If flaws or suspicious areas are found, their cause will need to be investigated. Once the cause has been found, corrective measures will need to be taken. If this is not done, and this applies to dealing with the cause as well as the repair of the parts, there is a large probability of (new) leaks in the future.

Corrective measures include the plugging of tubes and replacing gaskets. If a company has its own workshop, the repair work on a shell & tube heat exchanger will take one to two days. By emphasising preventive rather than corrective maintenance, leaks can be prevented. For instance, tube banks can be replaced sooner. Proper logging of maintenance works done and of the occurrence of problems enables better planning of maintenance work. It is recommended that the closing of the heat exchanger and tightening of the bolts is done under supervision to prevent future leaks. For this, a tool with a regulated momentum can be used.

III.3 Alternatives

The probability of leakage can be reduced by alternative choices of material, TEMA-type, tube plate connection, type of packing and the level of the process pressure of the cooling system.

Choice of material

Instead of carbon steel, more high-grade materials such as aluminium-brass copper nickel and titanium can be used for the water side of the heat exchanger. This will make the heat exchanger considerably more expensive than a heat exchanger whose tubes and tube plates are made of carbon steel (See also Annex IV).

Different heat exchanger

By choosing another type of heat exchanger, the probability of leakage can be reduced by a considerable margin.

Alternatives are:

- a U-tube heat exchanger
- a heat exchanger with a double tube plate construction
- both U-tube and double tube plate construction

There is no floating head on the U-tube type heat exchanger and therefore no flange seal on the rear end head. The U-tube type is 10 to 15% cheaper than the floating head type. If leakage occurs at the tube-tube plate connection in heat exchangers with a double tube plate

construction, there will be emission into the atmosphere instead of to the other medium. The double tube plate connection is fairly expensive.

Tube-tube plate connection

With a welded tube-tube plate connection there is a much smaller chance of leakage than with a rolled construction. Making a rolled connection into a welded connection can make existing heat exchangers better leak-proof. In this, there are two welds: a sealing weld (one layer of weld) or strength weld (usually two layers of weld). A cost indication shows that the price for a welded construction is about 9 to 11 Euro per tube higher than for a rolled construction.

Type of packing

With the flange seal of a floating head, the packing type can be changed. The usual types of packing, for instance an 'asbestos-free metal-wound' packing or a cam-profile packing, can be replaced by a seal with a weld ('Schweisssichtung').

ANNEX IV BEISPIEL FÜR DIE AUSWAHL VON MATERIALIEN FÜR KÜHLWASSERSYSTEME IN INDUSTRIELLEN ANWENDUNGEN (AUSSER KRAFTWERKEN)

[tm001, Bloemkolk, 1997]

IV.1 Einführung

Die Auswahl von Materialien für Kühlsysteme und besonders die Auswahl von Materialien für die Kühler (Wärmetauscher) ist in vielen Fällen eine komplexe Angelegenheit. Sie ist das Ergebnis eines Ausgleichs zwischen den Anforderungen der Chemie des Wassers und den betrieblichen Anforderungen (begrenzte Anwendung von Zusätzen, Anzahl der Konzentrationszyklen). Eine große Auswahl an Materialien wird geboten, um diesen Anforderungen zu entsprechen. Dieser Anhang zeigt ein paar Optionen für Materialien, die man für offene Durchlaufsysteme im Fall von Brackwasser anwenden kann. Der Anhang bietet eine qualitative Auswahl der Anwendungen. Im Einzelfall wird die endgültige Auswahl Werte für die Kosten beinhalten müssen, um einen fairen Vergleich durchzuführen, der auch die Folgen einer Auswahl auf die Betriebskosten berücksichtigt.

Auswahl der Materialien für Wärmetauscher

Es kommen viele Faktoren zusammen, um die endgültige Materialauswahl für Wärmetauscher zu treffen, zum Beispiel:

- Zusammensetzung und Korrosivität des Kühlwassers
- Betriebsart, z.B. Durchfluss- oder rezirkulierende Kühlung
- Korrosivität und Art des zu kühlenden Mediums
- Art des Kühlers
- Nutzungsdauer
- Kosten

Dies sind einige der wichtigsten Kriterien, die bei der Auslegung eines neuen Kühlers berücksichtigt werden, auf deren Grundlage schließlich eine gewisse Auswahl an Materialien getroffen wird. In vielen Fällen ist diese endgültige Auswahl der bestmögliche Kompromiss nach dem Prinzip, dass der Kühler eine wirtschaftlich akzeptable 'Nutzungsdauer' haben muss. Innerhalb dieser Nutzungsdauer werden jedoch viele Kühler zu lecken beginnen. Eine wichtige Ursache dafür ist, dass der Kühler in der Praxis nicht in Übereinstimmung mit den Prinzipien der Auslegung betrieben wird, weil eine Änderung der Prozessbedingungen aus einer Vielzahl von verschiedenen Gründen ganz häufig vorkommt.

Wichtige Ursachen, die zu Leckagen führen können, sind

- zu hohe oder zu niedrige Geschwindigkeiten im Rohrbündel und schlechte Zirkulation im Mantel (Tabelle IV.1);
- schlechte Wasseraufbereitung, d.h. angewandte Methode und Steuerung,
- zu hohe Metalltemperaturen auf der Kühlwasserseite.

Hinsichtlich der Temperaturen wird eine Metalltemperatur von 60°C als eine Obergrenze angesehen, da die Mehrheit der Korrosionsinhibitoren oberhalb dieser Temperaturen weniger oder gar nicht wirksam ist. In Durchlaufsystemen kommt es auch zur Bildung von Kalziumsalzen.

Tabelle IV.1: Geschwindigkeit des Kühlwassers und Materialart

Material	Geschwindigkeit (m/s)
Aluminiummessing	1,0 - 2,1
Kupfernickel (90-10)	1,0 - 2,5
Kupfernickel (70-30)	1,0 - 3,0
Unlegierter Stahl	1,0 - 1,8
Austenitischer Edelstahl (316)	2,0 - 4,5
Titan	2,0 - 5,0

Materialauswahl für Pumpen

Die Auswahl des Materials für eine Pumpe ist weniger kritisch, weil diese Ausrüstung in vielen Fällen in doppelter Ausführung besteht (eine Reserve ist vorhanden). Das heißt, wenn eine Pumpe ausfällt, wird der Prozess oft nicht gestört. Ein weiterer Faktor besteht darin, dass die verfügbaren Wände oft viel dicker sind als dies strenggenommen erforderlich ist (Korrosionszuschlag).

Materialauswahl für Kühlwasserrohre

In den meisten Fällen wird unlegierter Stahl mit einem ausreichend hohen Korrosionszuschlag für die Kühlwasserrohre ausgewählt. Falls ein Korrosionszuschlag von mehr als 3 mm für eine akzeptable Nutzungsdauer nicht ausreicht, werden alternative Materialien ausgewählt, zum Beispiel Kunststoffe, unlegierter Stahl mit einer organischen Beschichtung/Beton oder in Ausnahmefällen Legierungen von höherer Qualität, zum Beispiel rostfreier Stahl, Monelmetall, oder andere Nickellegierungen, etc.. Rohre haben gegenüber den Maschinen den Vorteil, dass sie viel leichter und billiger auszutauschen sind. Deshalb ist die Auswahl der Materialien weniger kritisch.

IV.2 Direkte Durchlaufsysteme (mit Brackwasser)

Die Zusammensetzung und Korrosivität von „Brackwasser“ ist nicht festgelegt und kann zwischen „Süßwasser“ als Oberflächenwasser und Meerwasser schwanken. Brackwasser wird gewöhnlich in den Übergangsbereichen zwischen Flüssen und/oder sonstigen „Süßwasser“-Abflüssen und dem Meer (Deltas) gefunden. Die Zusammensetzung und die Charakteristika können nach Standort und Jahreszeit stark schwanken. Die örtliche Wassertiefe, die Höhe des Durchflusses (Austausch) und die Gezeiten können in der Korrosivität dieses Wassertyps eine Rolle spielen. Einige Arten von Brackwasser weisen eine höhere Korrosivität auf als Meerwasser. So können zum Beispiel in seichtem Wasser mit einem Übermaß an Pflanzenwuchs Schwefelverbindungen als Ergebnis von Fäulnis auftreten, die an Kupferlegierungen ernsthafte Lochkorrosion verursachen können. In einer Vielzahl von Fällen ist die Menge an schwebendem Schlack beträchtlich, die die Wärmetauscher in der Anlage stark verschmutzen kann. In diesen Fällen ist die Anwendung von rostfreiem Stahl zweifelhaft, da die Bildung von Löchern (Lochfraß) fast sicher schnell auftritt. Da alle diese Faktoren in den meisten Fällen nicht gut bekannt sind, wird empfohlen, die Korrosivität des Brackwassers gleichzusetzen mit der von Meerwasser mit einem relativ hohen Anteil an schwebendem Schlack. Ein weiterer Vorteil ist, dass es erhebliche Kenntnisse und Erfahrungen über das Auftreten der Korrosion durch Meerwasser gibt.

Pumpen

Je nach Situation werden die Materialien in der folgenden Tabelle oft für Pumpen in Brackwasser angewendet (andere Materialien sind möglich, aber sie sind in der Regel teurer):

TabelleIV.2: Für Pumpen in Brackwasser angewendete Materialien

Gehäuse	Pumpenrad	Antriebswelle	Anmerkungen
Kugelgraphitguss)*	Zinnbronze	316)* Graues Gusseisen ist auch möglich. Bedeutend größere Chancen für Zufriedenheit. Guss-Stahl wird manchmal auch angewendet.
Aluminiumbronze	Rostfreier Stahl 316)*	Monelmetall)* Austenit-Edelstahl (Cr-Ni-Mo 18-8-2)
Aluminiumbronze	Aluminiumbronze	Monelmetall	
Zinnbronze	Aluminiumbronze	Monelmetall	
Zinnbronze	Rostfreier Stahl 316	Monelmetall	

Es besteht die Tendenz, eine Kombination für das Gehäuse und den Ventilator auszuwählen, wobei das Gehäuse im Prinzip der anodische Teil der Konstruktion ist.

Rohre

In den meisten Fällen wird unlegierter Stahl mit einem Korrosionszuschlag angewendet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den unlegierten Stahl mit einer organischen Beschichtung zu versehen oder ihn mit Beton zu beschichten. In beiden Fällen sind die Schweißnähte der schwache Punkt der Konstruktion.

Heutzutage werden besonders in unterirdischen Systemen zunehmend glasfaserverstärkte Expoxidrohre angewendet. Der große Vorteil dieses Materials besteht darin, dass fast völlig widerstandsfähig gegen Grundwasser ist. Die Herstellungskosten sind in etwa die gleichen wie für ein Rohrsystem aus unlegiertem Stahl, das innen oder außen mit einer organischen Beschichtung versehen ist. Über längere Zeit gesehen ist diese Lösung oft die billigere von beiden.

Wärmtauscher/Kühler

Wie bereits erwähnt ist die Auswahl des Materials in einem Wärmetauscher etwas komplizierter, da dort, wo es sich um das Rohrbündel handelt, die Korrosivität des zu kühlenden Mediums berücksichtigt werden muss. Geht man davon aus, dass das Prozessmedium für das Material des Rohrbündels nicht korrodierend ist und dass die mögliche Kontaminierung (zum Beispiel durch Kupferionen) des Prozesses nicht von Bedeutung ist, so wird die Auswahl des Materials hauptsächlich durch die Wasserqualität bestimmt.

Die mögliche Materialauswahl für „Mantel- & Rohrbündel“-Wärmetauscher in Brackwasser wird in der folgenden Tabelle aufgeführt (Wasser durch die Rohre).

Tabelle IV.3: Für Gehäuse- & Rohr-Wärmetauscher in Brackwasser angewendete Materialien

Gehäuse/Körper	Wasserkasten	Rohre	Rohrplatten
Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl) ^{*1}	Unlegierter Stahl
Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl) ^{*2}	Aluminiummessing	Unlegierter Stahl
Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl) ^{*2}	Aluminiummessing	Aluminiumbronze
Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl) ^{*2}	Aluminiummessing oder Kupfernickel) ^{*4}	Unlegierter Stahl mit einer Auskleidung aus Aluminiummessing
Unlegierter Stahl	Zinnbronze	Rostfreier Stahl 316) ^{*3}	Unlegierter Stahl
Unlegierter Stahl	Unlegierter Stahl) ^{*2}	Titan) ^{*5}	Unlegierter Stahl

Anmerkungen Tabelle IV.3:

In der obigen Liste stehen verschiedene Möglichkeiten. Die endgültige Auswahl ist weitgehend bestimmt durch den Grad der Korrosivität des Brackwassers und durch die Prozessbedingungen.

-)^{*1} Rohre aus unlegiertem Stahl sind nur möglich, wenn man sicher ist, dass das Wasser nicht korrodierend ist (z.B. durch praktische Erfahrung). Dies ist fast nie eine Option.
-)^{*2} Die Wasserkästen werden gewöhnlich mit einer organischen Beschichtung plus ein paar galvanischen Schutzanoden versehen. Falls die Rohrplatte aus einem edlen Material besteht, muss auf das Metall eine organische Beschichtung aufgebracht werden, um galvanische Wirkungen im Wasserkasten zu vermeiden.
-)^{*3} Die Anwendung von Austenitmaterial, zum Beispiel 316, ist nicht ohne Risiken. Im Fall der Verschmutzung besteht eine gute Wahrscheinlichkeit des Lochfraßes. Dieser Prozess kann äußerst schnell ablaufen. Ein weiteres Risiko ist in dieser Art von Material das mögliche Auftreten von Spannungskorrosion. Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, dass dies nicht oft passiert. Dies ist möglicherweise auf die relative niedrigen Temperaturen in dieser Art von System zurückzuführen. Dieses Risiko kann bedeutend vermindert oder sogar vermieden werden, falls man eine höhere Version der Legierung, zum Beispiel 904L, 254SMO oder Incoloy 825 anwendet. Diese Art von Materialien werden auch angewendet, wenn dies die Prozess-Seite erfordert.
-)^{*4} Kupfernickel-Legierungen und andere werden ausgewählt, falls die Metalltemperatur der Auslegung für Aluminiummessing zu hoch ist.

)^{*5} In vielen Fällen ist Titan die beste Wahl. Es wird oft angenommen, ein Wärmetauscher aus Titan sei zu teuer. In den letzten Jahrzehnten ist der Preis für dieses Material dramatisch gefallen und es wurde wirtschaftlich angewendet. Man erwartet, dass die sinkenden Kostendifferenzen und die zunehmenden Probleme mit der Wasseraufbereitung im Vergleich zu den jetzt noch angewendeten Cu-Ni Legierungen zu einer verstärkten Anwendung von Ti führen werden.

Zusätzlich zu der hohen Beständigkeit gegen Korrosion selbst in stark verschmutztem Wasser bietet dieses Material verschiedene Vorteile:

- Es können äußerst dünnwandige Rohre angewendet werden, somit weniger Material pro m² der Heizfläche.
- Die Wärmeleitfähigkeit ist sehr gut.
- Der Schrottwert ist hoch und das Material ist für die Wiederverwendung gut geeignet.
- Es hat eine lange Lebenserwartung.

Ein Nachteil ist, dass das biologische Wachstum stärker ist als, zum Beispiel, im Fall von kupferhaltigen Legierungen. Deshalb ist die zusätzliche Anwendung von Biociden erforderlich. Eine weitere Tatsache ist, dass Titan nicht in einer reduzierenden Umgebung angewendet werden kann, da keine schützende Oxidschicht gebildet wird.

IV.3 Durchlaufsysteme mit sekundärem Kühlkreislauf (Brackwasser/entmineralisiertes Wasser)

Im Durchlaufsystem mit sekundärem Kühlkreislauf wird die Wärme in einem geschlossenen sekundären Kühlkreislauf absorbiert. Danach wird die absorbierte Wärme über einen Wärmetauscher an ein offenes Durchlaufsystem weitergeleitet. Typischerweise ist in diesen Systemen die Wasserqualität/Korrosivität für jeden Kühlkreislauf unterschiedlich. Normalerweise ist der primäre Teil von schlechterer Qualität als der sekundäre Teil. In diesem Fall enthält der primäre Teil wiederum Brackwasser und der sekundäre Teil entmineralisiertes Wasser.

Materialauswahl für das primäre Durchlaufkühlsystem

Die Materialien für das mit Brackwasser gefüllte Primärsystem sind in Abschnitt IV.2 beschrieben. Der Wärmetauscher zwischen dem Primär- und Sekundärsystem ist für den Betrieb außerordentlich wichtig. Der Ausfall dieses Wärmetauschers hat ernsthafte Konsequenzen. Deshalb sollte dies bei der Auswahl des dafür vorgesehenen Materials berücksichtigt werden. Falls das primäre Kühlmittel Brackwasser ist, dann ist Titan die beste Wahl für die Rohre oder Platten (Plattentauscher). Andere Legierungen von hoher Qualität, zum Beispiel 254 SMO oder besser, können in gewissen Fällen in Betracht gezogen werden, aber in den meisten Fällen ist Titan die beste Wahl.

Materialauswahl für das sekundäre Umlaufsystem

Für ein geschlossenes sekundäres System ist es entscheidend, dass die Entfernung von Sauerstoff aus dem Wasser die Korrosion verhindert. In diesem Fall wurde entmineralisiertes Wasser als Kühlmittel gewählt. In einem mit CO₂ gesättigtem Zustand wirkt dieses entmineralisierte Wasser jedoch bei unlegiertem Stahl äußerst korrodierend. Dies kann man durch Alkalisieren des Wassers (pH=9) unterdrücken. Sauberes Leitungswasser mit einem relativ hohem Chlorgehalt ist im Prinzip genau so gut wie entmineralisiertes Wasser.

Wenn diese Vorkehrungen vorliegen, dann ist das Wasser ‚tot‘, das heißt seine Korrosivität ist minimal. In Prinzip können alle Materialien, einschließlich der Röhren in Wärmetauschern, Pumpen und Rohrleitungen, aus unlegiertem Stahl hergestellt werden. Natürlich muss man die Bedingungen innerhalb des Prozesses berücksichtigen.

Es ist wichtig, dass die Sauerstoffkonzentration in diesen Systemen regelmäßig überprüft wird. In einigen Fällen werden in diesen Systemen Nitrate als Inhibitor angewendet. Hält man das Wasser alkalisch und/oder behandelt es mit Nitraten, dann ist das Eindringen von Sauerstoff weniger kritisch.

IV.4 Offene rezirkulierende Kühlsysteme

IV.4.1 Anwendung von Süßwasser in offenen Nasskühltürmen

Im Hinblick auf die Anwendung von Material ist es eines der Ziele in der Auslegung eines offenen rezirkulierenden Kühlsystems (offener Nasskühlturm), das Wasser im System so aufzubereiten (Inhibitoren, pH-Steuerung, etc.), dass die Anwendung von unlegiertem Stahl für die meisten Teile des Systems wirtschaftlich akzeptabel ist.

Dieser Fall wird auf der Grundlage von Leitungswasser durchgeführt. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung und den Konzentrationszyklen erhöht sich die Konzentration der Bestandteile in diesem Wasser (manchmal ‚Eindickung‘ genannt), wodurch die Anzahl der gelösten Salze proportional ansteigt und damit die Korrosivität erhöht. Mit Inhibitoren und den richtigen pH-Werten wird diese Wirkung unterdrückt. Die Auslegung eines solchen Systems beruht gewöhnlich auf der Tatsache, dass Wasser auf unlegierten Stahl nicht korrodierend wirkt.

Die meisten Teile, zum Beispiel Röhren und Pumpen, werden deshalb aus unlegiertem Stahl hergestellt. Die Röhren in Wärmetauschern werden auch oft aus unlegiertem Stahl hergestellt. In kritischen Systemen oder um mehr Sicherheit zu bieten, werden die Röhren auch oft aus Aluminiummessing produziert. Gewöhnlich entstehen dort Probleme, wo das zu kühlende Medium korrodierend ist. In vielen Fällen muss dann Austenit-Stahl oder eine bessere Legierung unter den gleichen wie oben aufgeführten Risiken angewendet werden, zum Beispiel Lochfraß oder Spannungskorrosion.

Es ist äußerst wichtig, dass die Verschmutzung auf ein Minimum begrenzt bleibt. Dies gilt im Prinzip für alle Kühlwassersysteme. In einem offenen Umlaufkühlsystem wird oft die ‚Seitenstrom-Filtrierung‘ angewendet oder in kritischen Kühlern (Kondensatoren) wird ein Selbst-Säuberungssystem (zum Beispiel mit Gummibällen) eingebaut.

IV.4.2 Anwendung von Salzwasser in offenen Nasskühltürmen

[tm110, BDAG, 1995]

Der Einsatz von Salz- oder Brackwasser in Kühltürmen erfordert Anwendungsweisen, die besonders auf die Korrosion von Metallmaterialien achten. Eine Anzahl von Beobachtungen kann zusammengefasst werden. Bei gegen Salzwasser beständigen Strukturen wurden gute Erfahrungen mit Hartholzarten und druckbehandeltem Holz gesammelt. Die letztere Methode wird mit CCA ausgeführt und kann nicht als ein umweltfreundliches Verfahren angesehen werden. Sulfatfester Zement für Betonkonstruktionen und Bewehrungen für äußere und innere Bauteile haben sich gut bewährt. Silizium, Aluminiumbronze und/oder rostfreier Stahl können angewendet werden, aber beschichtet und galvanisiert nur oberhalb des Wasserverteilungspegels. Kunststoffbeschichtungen werden für Teile aus Aluminium-/Siliziumbronze empfohlen.

Einbaumaterialien sollten offen und verschmutzungsunanfällig sein bei gleichzeitig hoher Belastbarkeit, wobei die Kombinationen von Film (obere Teile) und ohne Film (untere Teile) sich als wirksam erwiesen haben. Die Wassergeschwindigkeit sollte niedrig genug sein, um die Korrosion zu verhindern, aber ausreichend hoch, um das Absetzen von schweren Feststoffen zu verhindern. Diese besonderen Maßnahmen können unter anderen die Erfordernisse der Wasseraufbereitung in den Anwendungen von Salzwasser vermindern.

ANNEX V OVERVIEW OF CHEMICALS FOR THE CONDITIONING OF COOLING WATER SYSTEMS

In all water-cooled systems additives are applied to treat the cooling water with the aim to protect the cooling system and to avoid a reduction of heat exchange due to scaling, fouling and corrosion. A wide range of additives is applied against these cooling water problems. The Annex gives an overview of the different types of additives that are applied in the different wet cooling systems. In the final section, treatment of cooling water in a wet open cooling tower is explained to illustrate the complexity of cooling water conditioning and the elements that are in play.

V.1 Corrosion inhibitors

V.1.1 Corrosion

Corrosion can be defined as the destruction of a metal by chemical or electrochemical reaction with its environment. The result is a metal oxide or other salt having little structural ability, which causes damage to the material. In cooling systems, corrosion causes two basic problems. The first and most obvious is the failure of equipment with the resultant cost of replacement and plant downtime. The second is decreased plant efficiency due to loss of heat transfer, which is the result of heat exchanger fouling caused by the accumulation of corrosion products.

Corrosion is caused or favoured by the presence of oxygen, the salt content, formation of deposits, or an excessive low pH level.

Corrosion can also result from fouling by the growth of organism, so called microbiologically-influenced corrosion (MIC): acid producing bacteria cause corrosion and vibrating mussels cause erosion.

V.1.2 Applied corrosion inhibitors

Corrosion inhibitors can be identified by their function. They remove corrosive material, passivate, precipitate or adsorb it. Passivating (anodic) inhibitors form a protective oxide film on the metal surface. Precipitating (cathodic) inhibitors are simply chemicals, which form insoluble precipitates that can coat and protect the surface. Adsorption inhibitors have polar properties, which cause them to be adsorbed on the surface of the metal.

The use of corrosion inhibitors varies from system to system. In **once-through systems** polyphosphates and zinc are applied and there is limited use of silicates and molybdates. In some countries hardly any corrosion inhibitors are dosed in once-through systems except for yellow metal inhibitors (e.g. ferrosulphate) dosed in copper alloy heat exchangers or condensers.

In **open recirculating systems** normally a more comprehensive corrosion control programme is required. For many years chromate based programmes were used, but due to its toxicity the use has been reduced significantly and should not be used anymore as there are good alternatives.. Most current used corrosion programmes are based on phosphates, and zinc is added if water conditions require this. Often is chosen to operate the system under alkaline conditions (pH of 8-9), but biocide and dispersant treatments might have to be adjusted accordingly under these circumstances. Water is then inherently less corrosive. Disadvantage of alkaline operation is the increased potential to scaling. Alkaline conditions in combination with organic phosphonates are effective against corrosion and scaling.

Theoretically, **closed water systems** should not require corrosion inhibitors. Any oxygen introduced with the initial make-up water should soon be depleted by oxidation of system

metals, after which corrosion should no longer occur. However, closed systems usually lose enough water and leak enough air to require corrosion protection. Another theory is that the high residence time of the water, up to several months, is responsible for the heavy treatment with corrosion inhibitors. For closed systems the three most reliable corrosion inhibitors are chromate, molybdate, and nitrite materials. Generally, the chromate or molybdate have proven to be superior treatments. The toxicity of chromate restricts the use, particularly when a system must be drained. In many cases a non-chromate alternative is available, but in some member states their use is still permitted. Molybdate treatments provide effective corrosion protection and are seen as more environmental acceptable as chromate treatments.

Finally, it depends on the systems conditions (materials used and pH) what kind of corrosion inhibitors is best applicable. For instance the most effective corrosion inhibitors for copper are the aromatic azoles. Concentrations in evaporative recirculating cooling systems typically range from 2 to 20 mg/l as active compound. For some anodic inhibitors (such as chromates, molybdates and nitrites) concentrations used in the past are reported to be 500 to 1000 mg/l. in closed systems.

V.2 Scale inhibitors

V.2.1 Scaling

If concentration of salt in the water film within the heat exchanger exceeds its solubility, precipitation occurs, which is referred to as scaling. The main forms of scale are calcium carbonate and calcium phosphate, but also calcium sulphate, silicates, Zn and Mg deposition can occur depending on the minerals contained in the water. Scaling reduces the performance of the heat exchanger, since the thermal conductivity of calcium carbonate is about 25 times lower than that of steel. Scaling depends on three major factors: mineralisation (alkalinity), higher temperature and pH of the circulating water and of secondary factors: presence of complexing organic matters and chemical composition of the heat exchanger surfaces. Also, certain shape of the heat exchanger body favour scaling. Corrugations, oblique channels and an insufficient ratio of water flow per film surface area favour scaling. In recirculating systems high cycles of concentration can lead to scaling as well.

Scaling may cause problems in cooling towers, as the film fill can be very susceptible to various types of deposition. Because of evaporation (1.8% of the circulation per 10K of cooling) in the tower, minerals and organic substances in the recirculating water may concentrate to such a level that scaling can occur.

For power stations in particular, it was reported that scaling occurs due to:

- heating of the water up to 30°C in direct cooling and 45°C in tower assisted circuits,
- evaporation of water to affect cooling in passage through the cooling towers, which gives rise to concentration of the dissolved salt up to a factor of 1.6 or as high as the concentration factor determines, and
- the losses of free carbon dioxide during passage of water through the towers causing a rise in the pH which varies with the flow rate and the type of packing. With older timber statted packs the pH was 7.5-7.8, but with plastic film flow pack, this increases to 8.2-8.4 in small towers (250 MW_e) as well as in large towers (900 MW_e or larger).

V.2.2 Applied scale inhibition

Scale formation can play a role in once-through and open recirculating cooling systems. In closed recirculating systems it should not be a major issue. It can occur if spills require frequent additions of make-up water and depending on the factors mentioned above.

The increase of concentration of salts in cooling water in **open recirculating cooling systems** and distribution systems is caused by evaporation in the cooling tower and to be controlled by the blowdown. The ratio of particulate solute in the recirculating water to that in the make-up water is called *concentration factor*. The concentration factor ranges from as low as 2-3 for large power plants until 8-9 for some recirculating industrial cooling water systems. Typical concentration factors in industry (not power plants) range between 3 and 5.

In practice, scaling is controlled by adjustment of the pH value by dosing of acid and by the application of scale inhibitors. Experiences in large systems of power stations equipped with cooling towers show that treatment with acid (sulfuric acid or hydrochloric acid) does not lead to a change in pH, which remains alkaline. The acids rather neutralize the alkalinity to avoid the precipitation of CaCO_3 .

However, in decarbonated waters pH control can be done by addition of acids. Decarbonation by precipitation of calcium carbonates depends on three major factors, which are mineralisation (alkalinity), temperature, and pH of the circulating water. Secondary factors are presence of complexing organic matters in water and the chemical composition of the heat exchanger surfaces.

Three alternatives were reported for the chemical treatment of cooling water to avoid scaling in heat exchangers and wet cooling towers in large wet cooling systems :

- decarbonation of make-up water (resulting in a sludge to be disposed of)
- addition of acid
- addition of organic scale inhibitors

The most important scale control agents are polyphosphates, phosphonates, polyacrylates, copolymers and ter-polymers. Typical concentrations of scale control agents range from 2 to 20 mg/l, as active compound. Hardness stabilisers prevent the formation of crystals and are used in recirculating systems, but rarely or never in once-through systems.

Closed recirculating systems are not subject to scale formation in the primary system except when hard make-up water must be used. Many closed systems use zeolite-softened water or condensates as make-up water to prevent scale problems. Generally, some corrosion occurs due to loss of water or leakage of air. In the secondary cooling circuit water circulates in an open evaporative system. Here corrosion can occur on the outside of the coils where wet heat transfer takes place.

V.3 Fouling inhibitors (dispersants)

V.3.1 Fouling

Fouling occurs when insoluble organic particulates suspended in water of both **once-through** and **open recirculating cooling systems** form deposits on the systems' surface. Particulate matter, particle sizes and low water velocities are factors that enhance fouling. Foulants can be sand, silt, iron oxides and other corrosion products and they can react with some water treatment chemicals as well. They can either be airborne, can enter the cooling system with the water (silt, clay) or are introduced by process leaks and can be very finely dispersed with sizes as small as 1-100 nm.

Dispersants are polymers used to prevent fouling by removing particulate (organic) matter (e.g. microfouling and slime layer) from the heat exchanger surface by increasing the electric charge resulting from absorption. The particles repel each other and as a result remain suspended. To facilitate penetration of biocides into microfouling and slime layers surfactants often referred to as biodispersants can be used. Dispersants help to keep the surface of heat exchangers clean, thereby reducing the risk of corrosion. It is common practice to dose biocides in combination with dispersants at levels of 1-10 mg/l as active ingredient.

V.3.2 Applied fouling inhibitors

The most effective and widely used dispersants are low molecular weight anionic polymers. The most important dispersants are: organic and metal sulphonates, metal phenolate, metal dialkyl dithiophosphates, sodium dialkyl sulphosuccinates, polyethylene alkyl and alicyclic amines, and monoethanolamine phosphate salts, polyacrylates, polymetacrylates and acrylate based polymers.

V.4 Biocides

V.4.1 Biofouling

Entrainment of organisms through water or air may lead to biofouling. Biofouling is generally of two main types: macrofouling (e.g. mussels) and microfouling (e.g. bacteria, fungi, algae).

Macrofouling is generally confined to **once-through systems** and is more severe in marine and brackish water than in fresh water. Macrofouling may cause gross blockage of pipework and culverts, and may cause so-called erosion corrosion. Macrofouling is very much location and water quality specific, both in terms of quantity and species variety.

Microfouling related problems occur both in **once-through and open recirculating cooling systems**. Microbial growth on wetted surfaces leads to the formation of biofilms. The result of uncontrolled microbial growth on surfaces is slime formation. The biological component or biofilm is produced by the living cells and their metabolic by-products. Microfouling is always the primary coloniser of surfaces in the development of biofouling.

The predominant effect of biofouling is reduction of heat transfer capacity of the heat exchangers and energy losses due to increased frictional resistance. Furthermore, where an exposed metal becomes fouled microbial induced corrosion can occur. In addition microbial species may threaten human health by spreading via cooling towers.

A number of antifouling techniques and treatments are available. These applications, the type of cooling water and the associated water problems are summarised in Table V.1.

Table V.1: Survey of fouling and clogging organisms, and degree of fouling in marine, brackish and fresh water. In the last column mitigation is presented (The degree of fouling is indicated as: + some; ++ fair; +++ heavy) (From: Applied Hydroecology 10, 1-2, 1998)

Country	Type of cooling water, associated fouling, clogging and scaling			Main antifouling mitigation techniques
	Marine	Brackish	Freshwater	
Belgium		Hydrozoa + Slime ++	Slime ++ Zebra mussels + Asiatic clam + Bryozoans ++ Gastropods ++ In cooling towers: scaling ++	Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Discontinuous Chlorination with hypochlorite
Denmark	Mussels + Slime +	See marine	Not used	Marine water: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Non-toxic antifouling paints.
France	Mussels +++ Barnacles ++ Clogging by: Seagooseberries (jellyfish) +++ seaweeds +++	Fouling: no special problems due to wide variations in salinity in large estuaries. Clogging by driftings macrophytes +	Zebra mussels ++ Bryozoans ++ Algae ++ Gastropods ++ Asiatic clam + In cooling towers: scaling ++	Marine water: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by abrasive sponge balls (some units). Continuous chlorination at low dosage (0.5-1.0 mg/L), with electrochlorination Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Shock chlorination once or twice a year
Germany			Zebra mussels + Slime ++ In cooling towers: scaling ++	Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Discontinuous Chlorination with hypochlorite. H ₂ O ₂ , ozone
Ireland	Mussels + Slime + Clogging by: Fish +++	See marine	Zebra mussels	Marine water: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by balls. Continuous chlorination with hypochlorite

Table V.1 (cont.): Survey of fouling and clogging organisms, and degree of fouling in marine, brackish and fresh water. In the last column mitigation is presented (The degree of fouling is indicated as: + some; ++ fair; +++ heavy) (From: Applied Hydroecology 10, 1-2, 1998)

Country	Type of cooling water, associated fouling, clogging and scaling			Main antifouling mitigation techniques
	Marine	Brackish	Freshwater	
Italy	Mussels +++ Hydroids ++ Tubeworms ++ Barnacles ++ Slime ++ Clogging by: seaweeds + Posidonia +	(only one station) Clogging by: seaweeds + debris +	Zebra mussels Slime ++ Clogging by: drifting plants, leaves +	Marine water: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by abrasive sponge balls. Continuous or intermittent chlorination by hypochlorite or electrochlorination. Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Intermittent chlorination (very few cases)
The Netherlands	Mussels +++ Slime ++ Clogging by: jellyfish +++ fish ++	Mussels ++ Slime + Clogging by: fish +	Zebra Mussels + Slime ++ Clogging by fish ++	Marine & Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Heat treatment. Chlorination continuous or discontinuous, with hypochlorite
Norway			Hydro-power: only problems with migrating fish.	
Portugal	Mussels ++ Slime +		Asiatic clam +	Marine water: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by abrasive sponge balls (some units). Continuous chlorination at low dosage (0.5-1.0 mg/L), with electrochlorination Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls.
Spain	Slime + Tubeworms + Mussels ++ Oysters +		Slime ++ In cooling towers: scaling ++	Marine & Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Discontinuous chlorination, low and shock dosage, with hypochlorite and electrochlorination.
United Kingdom	Barnacles + Mussels ++ Slime ++ Clogging by: fish +++ Seaweeds ++ Jellyfish +	See marine	Slime ++ In cooling towers: scaling ++	Marine & Freshwater: Water filtration, debris filters. On-line condenser cleaning by sponge balls. Continuous chlorination (intermittent in winter) with hypochlorite and electrochlorination

V.4.2 Applied biocidal treatment

To combat biofouling in industrial open wet cooling systems, biocides are added to the cooling water. On biocides, their use and their effects, a lot of research has been done and a large number of publications can be found.

Biocides are substances that slow down the microbiological growth in the cooling water, reduce the total number of cells in the feedwater and weaken stability of the biofilm matrix, and thereby minimising organic pollution in the cooling system. Microbiological growth includes the development of micro-organisms, bacteria, algae and fungi, and also the developments of macro-organisms, such as oysters, barnacles and mussels.

Generally, biocides are defined as either oxidising biocides or non-oxidising biocides.

Oxidising biocides have a non-specific broad-spectrum biocidal mode of action, which limits the degree to which fouling organisms can develop resistance to these biocides. Non-oxidising biocides are more selective and more complex in their working and therefore need a longer reaction time than oxidising biocides.

The environmental problem of biocides, however, is their inherent toxicity. Some antimicrobials used in cooling systems are compounds that rapidly break down in water, thereby alleviating some potential environmental hazards. This chemical breakdown is often accompanied by a reduction in the toxicity of the compound. The compound can be added to the cooling water system, accomplish its task of killing the microbes in the system and then break down into less toxic chemicals.

The consumption of biocides is determined by the type of cooling system, the water resource (fresh or salt), the season and leakage of organic materials from the process and the systems half-time. In **once-through systems** almost solely biocides are used. Usually, these are oxidative biocides such as hypochlorite or derivatives as hypobromite.

In **open recirculating cooling systems** use of biocides is made on the basis of an oxidative biocide alone or in combination with a non-oxidative biocide. The consumption of non-oxidative biocides and other conditioning agents is almost completely determined by recirculating cooling water systems. Furthermore, it has been observed that in some closed recirculating systems no biocides are being added at all.

Table V.2 gives an indication of the amounts of biocides used in some European Member States.

V.4.3 Oxidising biocides

The oxidising biocides commonly used in industrial cooling systems are the halogens, chlorine and bromine, in liquid and gaseous form, organic halogen donors, chlorine dioxide and ozone, monochloramine and peroxides. In case of seawater conditions there is a growing interest in the application of chlorine dioxide, because of its effectiveness and the reduced formation of bromated hydrocarbons (in particular bromoforme, chlorodibromomethane, bromodichloromethane and dibromoacetone) and trihalomethanes (THM) compared to hypochlorite, but on the other hand it produces ClO_3^- ions.

Chlorine gas (Cl_2) is also used in some places being compact and cheap, but has a safety risk when stored in bulk and gives some difficulties in handling.

Sodium hypochlorite is the most commonly oxidising biocide used in large once-through systems. It can be produced on marine sites by electrolysis of seawater. This process, called electrochlorination, avoids the transport and storage of dangerous chlorine gas or solution.

The consumption of sodium hypochlorite as active chlorine demand is generally lower in and around saltwater systems than on freshwater systems, because of a higher level of dissolved and particulate organic matter in fresh water. Due to its higher bromide content, the formation of

halogenated organics in seawater is reported to be lower than in freshwater (rivers), but no publications could confirm this.

Table V.2: Estimated consumption levels of some commonly used oxidising biocides in a few European Member States (kg/yr) (KEMA, 1996)

Group	Oxidising biocides	United Kingdom (1993) ²	Netherlands (1995) ³	France (1998)
Chlorine based	Sodium hypochlorite	731000 ^{1,5}	1800000 ⁴	817000 ⁶
	Sodium dichloroisocyanurate	19300		
	Chlorine dioxide	13000		
Bromine based	Sodium bromide	356000	22500	
	1-bromo-3-chloro-5,5-dimethylhydantoide (BCDMH)	286000	1000	
Other	Hydrogen peroxide	910		
	Peracetic acid	975		

Notes:
¹ estimated use as active ingredient, (as formulated product the amounts are much higher)
² in all cooling water systems
³ only in recirculating systems
⁴ measured as Cl₂
⁵ this figure is an underestimation as in the U.K much electrochlorination is employed in most coastal power stations
⁶ in Cl₂ produced by electrochlorination at fossil fuel power stations

This will also hold for cooling systems using water from heavily polluted harbours. Continuous ‘low’ chlorination is often preferred, although discontinuous or semi-continuous chlorination is more and more practised. However, this requires more intensive monitoring of the cooling system and the cooling water.

From both the chlorine gas and the sodium hypochlorite solution, the most active chemical species is the non-dissociated hypochlorous acid. This is a very reactive oxidising agent and reacts with most organics in the water to form the trihalomethane (THM) chloroform (3-5%) and other chlorinated organics. Free chlorine can also react with ammonia to produce chloramines or with diverse dissolved organic compounds forming different types of organohalogenated compounds (such as THM, chlorophenols). This occurs in the cooling system itself also and not before this first chlorine demand has been met, the residual chlorine will be able to do its biocidal work.

The use of the oxidising biocide hypobromous acid (HOBr) could be an alternative to hypochlorite. The hypobromous acid remains undissociated at higher pH values than is valid for hypochlorous acid. This implies that at pH 8 and above the free oxidant HOBr is a more efficient biocide than the dissociated hypochlorous ion OCl⁻. As a consequence, in alkaline freshwater, the effective dosage of hypobromite can be much lower than the equivalent hypochlorite. Although, brominated organics are 2-3 times more toxic than the chlorinated equivalents, they decompose more rapid and given the lower demand could provide a distinct environmental advantage. However, in marine water, the oxidation of bromide ions by hypochlorite leads to a rapid formation of hypobromite and the chlorination of sea water is almost equivalent to the bromination and there may be little environmental benefit in the hypobromous option compared with the hypochlorous option.

Bromide and sodium hypochlorite, chloramine and peroxyde are used in combination in recirculating systems, which is also expected to give less environmentally hazardous substances. A disadvantage of this treatment could be that at high concentrations of free oxidant (FO) solutions the formation of carcinogenous bromate could occur. Another possible source can be the ozonation of natural waters by the oxidation of bromide ions.

The bromate content depends on the bromide concentration in the brine water used to produce sodium hypochlorite. The theoretical maximum bromate concentration (BrO_3^-) in sodium hypochlorite solutions produced by electrolysis of seawater is around 100 mg/l or 3 mg per g of chlorine. A wide range of bromate concentration is found in commercial hypochlorite solutions. If concentrated brines are used for chlorine production it varies from 0.15 to 4.0 mg BrO_3^- per g of chlorine.

V.4.4 Non-oxidising biocides

Non-oxidising biocides are comparatively slow reacting substances that react with specific cell components or reaction pathways in the cell. The following non-oxidising biocides are reported to be commonly used: 2,2-dibromo-3-nitropropionamide (DBNPA), glutaric aldehyde, quaternary ammonium compounds (QAC), isothiazolones, halogenated bisphenols and thiocarbamates, but many others are in the market and within Europe the amount and the frequency of use of the individual biocide varies considerably. Table V.3 gives an indication of the consumption of some non-oxidizing biocides.

The application of non-oxidising biocides instead of oxidising biocides is recommended only in cases where oxidising biocides are not able to give sufficient protection, such as in systems with high organic loads, or in recirculating wet cooling systems where daily control is not a practice. In large recirculating wet cooling systems, where mostly sodium hypochlorite is used, sometimes constant monitoring is applied to ensure that the correct level of free oxidants is available in the circuit. For many smaller recirculating wet cooling systems however, and for those operated by water service companies who do not have personnel permanently on-site, application of non-oxidising biocides that are less influenced by the water quality are preferred over the oxidising biocides [tm005, Van Donk and Jenner, 1996].

Non-oxidising biocides are mainly applied in open evaporative recirculating cooling systems. Generally, they are applied to cooling water systems to give water active ingredient concentrations from about 0.5 ppm up to 50 ppm (exceptionally 100 ppm).

Non-oxidising biocides exert their effects on micro-organisms by reaction with specific cell components or reaction pathways in the cell. The first reaction involves damage to the cell membrane and in the other reaction damage is being done to the biochemical machinery in the energy production or energy utilisation of the cell.

Quaternary ammonium compounds are cationic surface-active molecules. They damage the cell membranes of bacteria, fungi and algae, thus increasing the permeability of the cell wall resulting in denaturation of proteins and finally death of the cell. Isothiazolones are non-specific and they interfere with ATP-syntheses in the cell. Of the others methylene(bis)thiocyanate (MBT) is widely used against bacteria and fungi and this biocide is believed to bind irreversibly to biomolecules preventing necessary reduction and oxidation reactions. Glutaraldehyde is used against both aerobic and anaerobic bacteria and its biocidal activity is based on protein cross-linking.

Table V.3: Estimated consumption levels in some of European Member States of some commonly used non-oxidising biocides in kg/yr (KEMA, 1996)

Group	Non-oxidising biocides	United Kingdom (1993) ²	Netherlands (1995) ³	France (1998)
QAC	Dimethyl cocobenzyl Ammonium chloride	23400 ¹		
	Bezyl-alkonium ammonium compounds	21400		
	Total QAC estimate	71152		
Isothiazolines	5-chloro-2-methyl-4-isothiazolin-3-one	13200		
	Total isothiazolines	18000	1500	
Others	Halogenated bisphenols (dichlorophen+fentichlor)	12150		
	Thiocarbamates	56800		
	Glutaraldehyde	56400	750	
	Tetraalkyl phosphonium chloride	9500		
	2,2-dibromo-3-nitrilo-propionamide	17200	800	
	Methylene(bis)thio-cyanate (MBT)	2270	1450	
	β -bromo- β -nitrostyrene (BNS)	231	1950	
	Fatty amines			20000 ⁴
	Others	4412		
	Estimated total	234963	6450	

Notes:
¹ estimated use as active ingredient (as formulated product the amounts are much higher)
² in all cooling water systems
³ only in recirculating systems
⁴ active product used at a marine fossil fuel power station

V.4.5 Factors determining the use of biocides.

[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

The following factors focus on the use of biocides, but could be applied to the use of other additives as well.

- Effectiveness

Obvious as this may sound, a biocide has to be effective in the specific situation it is used in. However, it is important to realise that a biocide - or a cooling water treatment program - that is effective in one system, may not be so in another system, even if these systems are apparently identical. One of the reasons for this can be the development of a resistant or tolerant population of micro-organisms. For oxidising biocides this is less of a risk than for non-oxidising biocides.

- System type

The system type determines the hydraulic half-time of the cooling water in the wet cooling systems, and thus the contact time between the biocide and the cooling water. In once-through wet cooling systems, where residence times are short, fast reacting - oxidising - biocides are generally used. At present if biocides are being used in once-through systems in the Netherlands sodium hypochlorite is applied. Slower reacting non-oxidising biocides are at present only used

in recirculating wet cooling systems. The majority (> 90%) of the recirculating cooling water systems is being treated with NaOCl, Cl₂, ClO₂ or NaOCl./NaBr.

The type of process is an important factor in the choice of a biocide, especially when considering the reactivity of some biocides with process fluids spilled into the cooling water. Some processes, like the direct cooling of metal in the metal industry create special conditions in the cooling water. Process fluids leaking into the cooling water may function as a nutrient for biological growth.

- Water quality

Chemical and biological water quality affects the choice of a cooling water treatment programme, and thus the choice of a biocide. Occurrence of macrofouling organisms is very much water quality related. Generally speaking, an increased quality of the surface water in biological terms may result in an increased occurrence of macrofouling in wet cooling systems.

For micro-organisms, water type does not play a major role in defining the types of organisms encountered. In theory a pH value of approximately 7 is optimal for microbial growth. Acid conditions will favour growth of fungi and pH values higher than 8 will reduce algae growth. However, in practice micro-organisms prove to be highly adaptable and can colonise a variety of systems. An illustration of this is the commonly held belief that fungi prefer acidic to neutral media for growth, and will be supplanted by bacteria in an alkaline system. This is fundamentally correct, but if such a system is treated with a bactericide with no antifungal activity, often contamination with fungal spores allows colonisation of the system, even at a pH value of 9.

In once-through systems, the pH value inside the cooling system is equal to that of the entrained water, although dosing of sodium hypochlorite may slightly increase the pH value but this is usually impossible to measure. In open evaporative recirculating systems the pH value is often controlled, ranging generally from 7 to 9, by addition of acids (often sulphuric acid) or a base (often sodium hydroxide) or cycling natural alkalinity.

For the application of sodium hypochlorite and sodium hypobromite as a biocide, it is well known that the pH value strongly influences the equilibrium between hypochlorous acid and the hypochlorite ion. Hypochlorous acids are approximately hundred times more toxic than their anionic form. Therefore, in theory, the pH value will affect the toxicity of for example hypochlorite dose.

In practice, the pH value cannot be influenced in **once-through systems**. Freshwater once-through systems typically use cooling water at pH 7 - 8; seawater cooled systems operate at a pH value of approximately pH 8. The above-mentioned equilibrium is therefore most relevant for the effectiveness of the treatment in once-through systems, since residence time of the cooling water - and thus contact time of the biocide with the organisms - in the cooling system is relatively short.

Wet recirculating systems generally are operated at a pH value ranging from 7 - 9. Experience in the chemical industry has shown that a recirculating system operating at pH value of 9 uses less hypochlorite than a system operating at a lower pH value, without loss of effectiveness of the treatment. The fate of hypochlorite in recirculating systems has been extensively studied. The main conclusion from this is that 5-10% of the hypochlorite dosed is lost in the tower when operating at pH value of 8.5, while at a pH value of lower than 7 this is 30 - 40%.

The explanation for this is that the hypochlorite anion cannot be stripped out of the cooling tower. This is in contrast with hypochlorous acid. It is concluded that hypochlorite dosage at a pH value of 9 is equally effective, in spite of the fact that only (1 - 5%) is present in the acid form, because the hypochlorous acid consumed will be instantly replenished from the surplus present in the anionic form. The overall conclusion therefore is that operating recirculating systems at a high pH value will reduce the amount of hypochlorite needed for effective microfouling control.

The temperature of the surface influences the growth of the marine biology and can therefore be used as a factor for the choice of a treatment programme in **once-through cooling systems**. Macrofouling in once-through systems in the Netherlands will not grow rapidly during winter months. Therefore it is not necessary to dose biocides when water temperatures are lower than 12°C. Industries with once-through systems on the Mediterranean coast, where severe macrofouling growth and spat fall take place all year round, dose oxidising biocides all year round. In general, water temperature will greatly affect species variability, growth rate and biocide demand. In once-through systems the water temperature added to the bulk water (ΔT) is 8 - 12 °C, restricted by a maximum discharge temperature. Recirculating systems face the same restriction at the point of discharge, although sometimes higher discharge temperatures are allowed. Temperatures in the recirculating bulk water can be 20 - 30 °C and higher. Most macrofouling species in the Netherlands do not tolerate long-term exposure to temperatures of 30 °C, but some species, such as the brackish water mussel, grow very rapidly at these temperatures.

For **recirculating systems** with high concentration factors, the hardness of the intake water and the amount of organic materials are of extreme importance, since this will affect the amount of scaling and corrosion inhibitors needed. Both for once-through and recirculating systems the amounts of organic material (dissolved solids, suspended solids) in the cooling water are important, since they influence biocide demand. The extent into which this influences biocides varies (e.g. hypochlorite will react with ammonia, chlorine dioxide will not). In general it is advisable to reduce to a minimum all substances that lead to increased biocide demand.

V.4.6 Interactions with other water treatment chemicals

Other additives such as corrosion and scale inhibitors can also affect the choice of a suitable biocide. Some biocides limit each other's effectiveness, but can also be of reciprocal benefit. For example:

- QACs are known to be partially neutralised by oxidative biocides and anionic dispersing agents;
- Isothiazolones on the other hand are stabilised by sodium hypochlorite;
- Ozone is such a strong oxidant that it will oxidise almost any other cooling water additive, which is specifically a problem for corrosion inhibitors that often have to be applied to some extent adjacent to the ozone application to protect the equipment.

V.5 Cycles of concentration and water balance

The application of additives in open evaporative cooling towers is complex and largely related to the water balance and the cycles of concentration with which the system is operated. The blowdown is an important measure to correct the solids balance and plays a role in the optimisation of cooling systems performance and cooling water treatment. A short explanation of the principle of blowdown is given below Figure V.1.

A quantity of cooling water (Q_c) is circulating through the system in m³ per minute. Passing the heat exchanger the cooling water is cooled down in the cooling tower by evaporation and convection. Evaporation (E), drift, windage and some leakage reduce the amount of cooling water and consequently the concentration of salts in the water increases which could lead to scaling and corrosion.

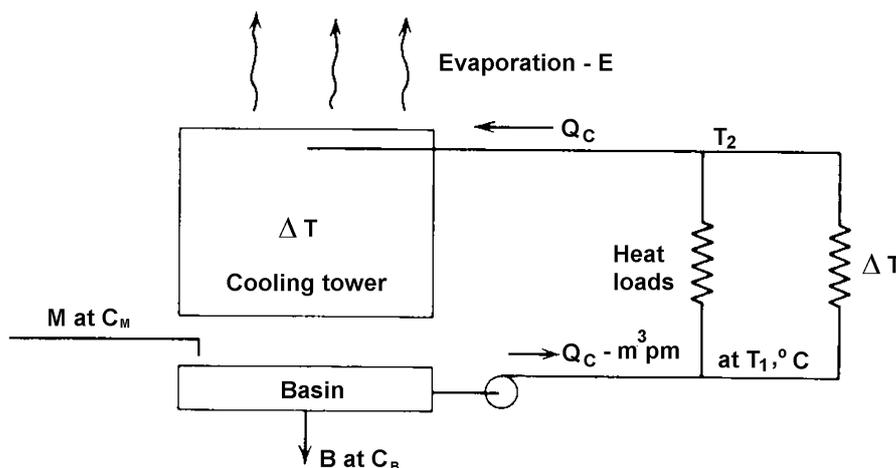


Figure V.1: Tower and solids balances for an evaporative cooling system using a cooling tower [tm135, Anonymous, 1988]

This is balanced by bleeding the system, which process is called blowdown (B with concentration C_b) and compensated by adding water called make-up (M with concentration C_m). As the system has to be balanced use is made of the concentration ratio (CR): $CR = M/B = C_b/C_m$ (because $M \times C_m = B \times C_b$).

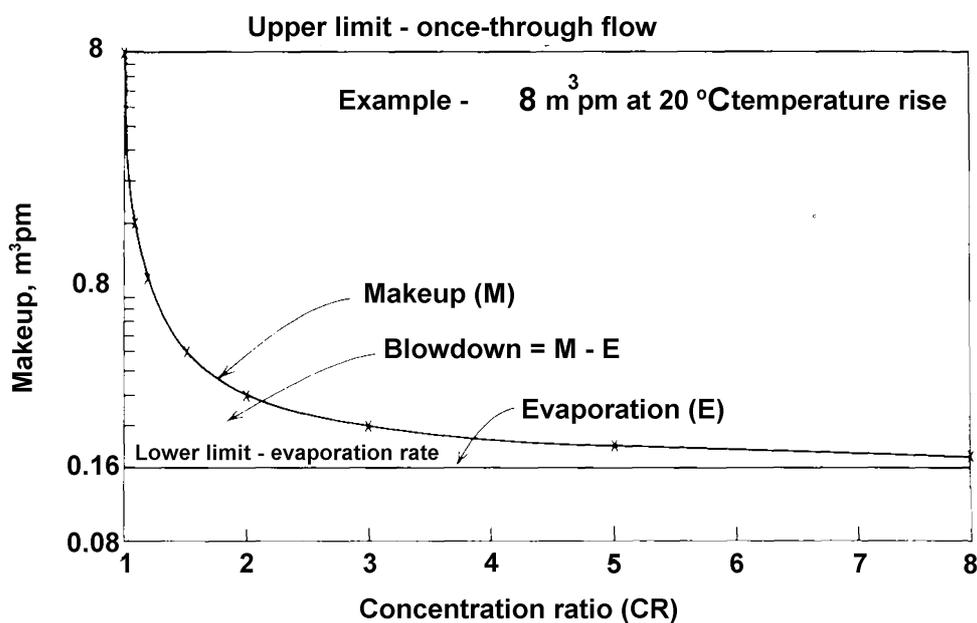


Figure V.2: Reduction of the make-up flow by concentration in an evaporative cooling system [tm135, Nalco, 1988]

$M = E+B$, thus $CR = (E+B)/B = E/B+1$ and from this equation follows that

$$\mathbf{B = E/(CR-1)}$$

This is a very useful equation in cooling water treatment. After the cycles of concentration have been determined based upon the make-up and blowdown concentrations, the actual blowdown being lost from the system, or the blowdown required to maintain the system at the desired number of cycles, can be calculated.

ANNEX VI EXAMPLE OF LEGISLATION IN EUROPEAN MEMBER STATES

The following text has been integrally included to give an example of legislation that has been successfully applied in Europe to reduce the emissions of cooling systems.

GENERAL ADMINISTRATIVE REGULATION OF 31 JANUARY 1994

**On the Amendment to the
General Administrative Framework Regulation on
Minimum Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters**
(currently, august 2000, being revised)

Excerpt of

Appendix 31: Water Treatment, Cooling Systems, Steam Generation

1 Scope

- 1.1 Waste water in which the contaminant load originates primarily from the treatment of water from cooling systems of industrial processes.

2 Requirements

The following requirements for the discharge of waste water must be complied with. The requirements for chemical oxygen demand, for nitrogen as the sum of ammonium, nitrite and nitrate nitrogen, for inorganic phosphorus compounds and for filterable substances are based on generally recognised technical rules, the remaining requirements on best available technology.

These requirements shall not apply to waste water discharges of less than 0.5 m³ per day.

2.1 General requirements

The waste water must not contain - with the exception of phosphonates and polycarboxylates - any organic complexing agents which are not readily biodegradable in accordance with the basic level requirements of the Chemicals Act for determining ready biodegradability by means of the OECD Guidelines 301 A - 301 E of May 1981.

The waste water must not contain chromium compounds or mercury compounds, nitrite, organometallic compounds (metal-carbon bonds) or mercaptobenzothiazole originating from the use of operating and ancillary resources.

The requirements in the first and second paragraphs shall be deemed to be complied with if the substances specified are not used, all operating and ancillary resources used are listed in an operating journal and manufacturers' information is available showing that such substances are neither present in the operating and ancillary resources used nor capable of forming under operating conditions.

2.3 Requirements for waste water from cooling systems

2.3.1 Water from single-pass or open-ended fresh water cooling systems

The requirements after shock treatment with microbicial substances shall be as follows:

	Qualified random sample or 2-hour composite sample (mg/l)
Chlorine dioxide, chlorine and bromine (expressed as chlorine)	0.2
Adsorbable organic halogens (AOX)	0.15

Microbicial substances other than hydrogen peroxide and ozone must not be present in the waste water. These requirements shall be deemed to be complied with if such substances are not used, all operating and ancillary resources used are listed in an operating journal and manufacturers' information is available showing that such substances are not present in the operating and ancillary resources used.

2.3.2 Water from flushing of primary cooling circuits in power stations (flushing water from recirculation cooling systems)

	Random sample (mg/l)
Chemical oxygen demand (COD)	30
Phosphorus compounds as phosphorus, total ²⁾	1.5
<i>If only inorganic phosphorus compounds are used, the value for the parameter phosphorus is increased to 3 mg/l.</i>	

The requirements after shock treatment with microbicial substances shall be as follows:

	Random sample (mg/l)
Adsorbable organic halogens (AOX)	0.15
Chlorine dioxide, chlorine and bromine (expressed as chlorine)	0.3
Toxicity to luminescent bacteria T _B	12

The luminescent bacteria toxicity requirement shall also be deemed to be complied with if the flushing circuit is kept closed until a T_B value of 12 or less is reached in accordance with manufacturers' information about input concentrations and biodegradation behaviour and this is substantiated by an operating journal.

Zinc compounds from cooling water conditioning agents must not be present in the waste water. This requirement shall be deemed to be met if all operating and ancillary resources are listed in an operating journal and manufacturers' information is available showing that the cooling water conditioning agents used do not contained any zinc compounds.

2.3.3 Waste water from flushing of other cooling circuits

	Random sample (mg/l)
Chemical oxygen demand (COD) <i>The value for the parameter COD is increased to 80 mg/l after cleaning with dispersants.</i>	40
Phosphorus compounds as phosphorus, total ²⁾ <i>The value for the parameter phosphorus is increased to 4 mg/l if only zinc-free cooling water conditioning agents are used. It is increased to 5 mg/l if the zinc-free conditioning agents used contain only inorganic phosphorus compounds.</i>	3
Zinc	4
Adsorbable organic halogens (AOX)	0.15

The requirements after shock treatment with microbicidal substances shall be as follows:

	Random sample (g/l)
Chlorine dioxide, chlorine and bromine (expressed as chlorine)	0.3
Adsorbable organic halogens (AOX)	0.5
Toxicity to luminescent bacteria T_B	12

The luminescent bacteria toxicity requirement shall also be deemed to be complied with if the flushing circuit is kept closed until a T_B value of 12 or less is reached in accordance with manufacturers' information about input concentrations and biodegradation behaviour and this is substantiated by an operating journal.

- 2.5 In the case of holding ponds, all values shall be for the random sample. Here the values relate to the quality of the water before emptying.
- 2.6 Compliance with the requirements in item 2.3 for the parameter COD may also be checked by determining total organic carbon (TOC). In this case, the COD value is to be replaced by three times the TOC value as determined in milligrams per litre.

2) Determination in the original sample in accordance with DIN 38406 - E22 (March 1988 edition) or an equivalent measurement and analysis procedure.

ANNEX VII EXAMPLE OF A SAFETY CONCEPT FOR OPEN WET COOLING SYSTEMS (VCI-CONCEPT¹⁹)

VII.1 Introduction to the concept

This safety concept has been elaborated in order to provide assistance with regard to the protection of waters from the temporary discharge, via cooling water, of (process) substances causing long-term detrimental changes to water bodies. The concept specifies measures of monitoring and changeover in connection with once-through cooling systems and alternatives to once-through cooling systems as a function of the persistence of water pollution by substances, which can be discharged into the cooling water.

The capacity of a substance to cause long-term detrimental changes or to pose a hazard to a water body can be determined on the basis of the R - phrases established under European legislation on hazardous substances. A certain score is allocated, as shown in the table below, to each of the R - phrases relating to the protected assets aquatic-environment as well as human health and soil. The scores of all R - phrases assigned to the substance concerned are added up to obtain the total score. This total score is then linked with the required safety measure concerning the contaminated cooling water. Decisions relating to the implementation of such measures and the technology applied can, of course, only be taken within the individual companies concerned and with knowledge of the particular circumstances.

It will be recommended to apply this concept immediately to new plants and to refit existing cooling-systems if they do not meet these requirements within:

- 5 years for substances with total score ≥ 9
- 8 years for substances with total score from 0 - 8

For substances with total score ≥ 5 measures with regard to the monitoring of once-through cooling systems should be tackled immediately taking into account the requirements of individual cases.

The requirements of this safety concept refer to all cooling water streams, which are not connected to industrial purification plants or to an appropriate water-associated purification plant. The requirements concerning substances with total score ≤ 4 do not refer to indirect discharges which are fed to a sewage treatment plant.

¹⁹ Anmerkung zur Übersetzung: Nunmehr „Sicherheitskonzept für Kühlwasserströme in der Chemischen Industrie“ des VCI (zu finden unter <http://www.vci.de>)

Table VII.1: Score for a number of R-phrases to calculate the total score for process substances

Score	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ecotoxicity and Degradation/bio-accumulation				52/53		51/53		50/53	
Ecotoxicity and/or Degradation/bio-accumulation n.y.d.				* 3)		* 2)		* 1)	
Ecotoxicity			52			50			
Ecotoxicity n.y.d.						*			
Degradation/bio-accumulation			53						
Degradation and/or bio-accumulation n.y.d.			*						
Acute mammalia toxicity (acute orale toxicity preferred)	22 20/22 21/22 20/21/22 21 20/21 65		25 23/25 24/25 23/24/25 24 23/24		28 26/28 27/28 26/27/28 27 26/27				
Acute mammalia toxicity n.y.d.					*				
Carcinogenicity and/or mutagenicity		40							45 and/or 46
Irreversible effect		40/21 40/22 40/20/22 40/21/22 40/20/21/22		39 39/24 39/25 39/23/25 39/24/25 39/23/24/25		39/27 39/28 39/26/28 39/27/28 39/26/27/28			
Recurrent Exposure		33 48 48/21 48/22 48/20/22 48/21/22 48/20/21/22		48/24 48/25 48/23/25 48/24/25 48/23/24/25					
Reproduction toxicity		62 and/or 63		60 and/or 61					
Dangerous reaction with water			29 15/29						

Legend to the table on the previous page:

- n. y.d. = attributes not yet determined (tested or known)
 * = score, if one or more of the attributes, "ecotoxicity", "degradation/bioaccumulation" and "acute toxicity" were not tested or not known

Footnote 1) - Ecotoxicity and degradation and/or bioaccumulation n.y.d. or ecotoxicity n.y.d. and easy degradation not proved or
 - ecotoxicity n.y.d. and potential of bioaccumulation available or classified into R 50 and degradation and/or bioaccumulation n.y.d.

Footnote 2) - Ecotoxicity > 1 and ≤ 10 mg/l and degradation and /or bioaccumulation n.y.d.

Footnote 3) - Ecotoxicity > 10 and ≤ 100 mg/l and degradation n.y.d.

Footnote 4) - See Appendix 2 for description of R-phrases

VII.2 Requirements of the concept

The requirements put on the cooling technology is determined by the respectively highest total of points of those process substances that can enter the cooling water. These requirements are summarized in the following table.

Table VII.2: Requirements of VCI safety concept for cooling technology

score: 0 points	score: 1 - 4 points	score: 5 - 8 points	score: ≥ 9 points
(D1 + A1)	(D1 + A1 + U1)	(D1 + A2 + U1) (D2 + A1 + U1)	(D3 + A2 + U1) / (D2 + A2 + U2) / (Z) (E) / (K) / (L) / (S)
... alternative options			

D1, A1 and U1 are always replaceable by the higher measures D2 (or D3), A2 and U2.

The codes in the table are described as follows:

- D1 Once-through cooling system;
- D2 once-through cooling system with a cooling water pressure which is kept clearly and in a controlled way above the process pressure (cooling water pressure should not fall below process pressure at any point in the cooling system, also not by hydraulic processes);
- D3 Once-through cooling system with cooler made of high-quality anticorrosive material and regular maintenance;
- Z Intermediate storage with analytical control prior to discharge;
- E Cooling via primary/secondary circuits (decoupling);
- K Circulation cooling via recooling systems;
- L Air cooling system;
- S Special cooling system (e.g. heat pumps, absorption cold plants, vapour compression systems, heat transformers);

- A1 Analytical or other adequate monitoring of cooling water;
- A2 Automatic analytical monitoring of cooling water (according to the appendix);

- U1 Immediate changeover of the cooling water discharge to holding facilities or a purification plant provided that such a plant is appropriate for the disposal of the released substance or immediate changeover to reserve cooling system or switch-off of the part of the production plant concerned;

- U2 Automatic changeover of the cooling water discharge to holding facilities or a purification plant provided that such a plant is appropriate for the disposal of the released substance or automatic changeover to reserve cooling system or switch-off of the part of the production plant concerned.

VII.4 Appendix 2 – R-phrases used to calculate VCI-score

Table VII.3: Description of R-phrases used to calculate VCI-score for cooling systems selection

R 20/21	Harmful by inhalation and in contact with skin.
R 20/21/22	Harmful by inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 20/22	Harmful by inhalation and if swallowed.
R 21	Harmful in contact with skin.
R 21/22	Harmful in contact with skin and if swallowed.
R 22	Harmful if swallowed.
R 23/24	Toxic by inhalation and in contact with skin.
R 23/24/25	Toxic by inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 23/25	Toxic by inhalation and if swallowed.
R 24	Toxic in contact with skin.
R 24/25	Toxic in contact with skin and if swallowed.
R 25	Toxic if swallowed.
R 26/27	Very toxic by inhalation and in contact with skin.
R 26/27/28	Very toxic by inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 26/28	Very toxic by inhalation and if swallowed.
R 27	Very toxic in contact with skin.
R 27/28	Very toxic in contact with skin and if swallowed.
R 28	Very toxic if swallowed.
R 29	Contact with water liberates toxic gas.
R 33	Danger of cumulative effects.
R 39	Danger of very serious irreversible effects.
R 39/24	Danger of very serious irreversible effects in contact with skin
R 39/25	Danger of very serious irreversible effects if swallowed
R 39/23/25	Danger of very serious irreversible effects through inhalation and if swallowed
R 39/24/25	Danger of very serious irreversible effects in contact with skin and if swallowed.
R 39/23/24/25	Danger of very serious irreversible effects through inhalation, in contact with skin and if swallowed
R 39/27	Danger of very serious irreversible effects in contact with skin
R 39/28	Danger of very serious irreversible effects if swallowed
R 39/26/28	Danger of very serious irreversible effects through inhalation and if swallowed
R 39/27/28	Danger of very serious irreversible effects in contact with skin and if swallowed
R 39/26/27/28	Danger of very serious irreversible effects through inhalation, in contact with skin and if swallowed
R 40	Possible risks of irreversible effects.
R 40/21	Harmful: possible risk of irreversible effects in contact with skin.
R 40/22	Harmful: possible risk of irreversible effects if swallowed.
R 40/20/22	Harmful: possible risk of irreversible effects through inhalation and if swallowed.

Table VII.3 continued	
R 40/21/22	Harmful possible risk of irreversible effects in contact with skin and if swallowed.
R 40/20/21/22	Harmful possible risk of irreversible effects through inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 44	Risk of explosion if heated under confinement.
R 45	May cause cancer.
R 48	Danger of serious damage to health by prolonged exposure.
R 48/21	Harmful: danger of serious damage to health by prolonged exposure in contact with skin.
R 48/22	Harmful: danger of serious damage to health by prolonged exposure if swallowed.
R 48/20/22	Harmful: danger of serious damage to health by prolonged exposure through inhalation and if swallowed
R 48/21/22	Harmful: danger of serious damage to health by prolonged exposure in contact with skin and if swallowed.
R 48/20/21/22	Harmful: danger of serious damage to health by prolonged exposure through inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 48/24	Toxic: danger of serious damage to health by prolonged exposure in contact with skin.
R 48/25	Toxic: danger of serious damage to health by prolonged exposure if swallowed.
R 48/23/25	Toxic: danger of serious damage to health by prolonged exposure through inhalation and if swallowed.
R 48/24/25	Toxic: danger of serious damage to health by prolonged exposure in contact with skin and if swallowed.
R 48/23/24/25	Toxic: danger of serious damage to health by prolonged exposure through inhalation, in contact with skin and if swallowed.
R 50	Very toxic to aquatic organisms.
R 51	Toxic to aquatic organisms.
R 52	Harmful to aquatic organisms.
R 53	May cause long-term adverse effects in the aquatic-environment.
R 60	May impair fertility.
R 61	May cause harm to the unborn child.
R 62	Possible risk of impaired fertility.
R 63	Possible risk of harm to the unborn child.
R 65	Harmful: may cause lung damage if swallowed.
R 15/29	Contact with water liberates toxic, highly flammable gas.

ANNEX VIII EXAMPLES FOR THE ASSESSMENT OF COOLING WATER CHEMICALS

Anmerkung des UBA vom 5.10.2004

Die Zulassung von bioziden Schutzmitteln für Flüssigkeiten in Kühl- und Verfahrenssystemen unterliegt der Richtlinie 98/8/EG über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten (Biozid-Produkte-RL) vom 16. Februar 1998 (ABl L 123/1 vom 24.4.1998), deren Bestimmungen in Deutschland mit dem Biozidgesetz (Neufassung des Chemikaliengesetzes) vom 20. Juni 2002 (veröffentlicht im BGBl. Teil I, Nr. 40, S. 2076 vom 27. Juni 2002) umgesetzt und seit dem 28. Juni 2002 in Kraft sind.

In solchen Mitteln enthaltene alte Wirkstoffe, d.h. solche, die vor dem 14.05.2000 auf dem Markt waren (sogenannte „alte Wirkstoffe“), werden gemäß EG-Verordnung Nr. 2032/2003 vom 4. November 2003 (ABl L 307/1 vom 24.11.2003) in einem 10-Jahres-Arbeitsprogramm auf ihre Wirksamkeit und Auswirkungen auf Mensch und Umwelt geprüft und entschieden, ob sie in eine sogenannte Positiv-Liste der in Biozid-Produkten zulässigen Wirkstoffe (Anhänge I, I A oder I B der Biozid-Richtlinie) aufgenommen werden können. Die entsprechenden Dossiers für die zur Prüfung notifizierte Wirkstoffe (Liste in Anhang II der Verordnung), müssen bis zum 31.10.2008 bei dem jeweils vorgesehenen Berichtersteller-Mitgliedstaat eingereicht worden sein.

Wirkstoffe, die nur identifiziert, aber nicht notifiziert wurden, sind in Anhang III der EG-Verordnung Nr. 2032/2003 aufgelistet. Biozid-Produkte, die einen dieser identifizierten Wirkstoffe enthalten, dürfen nur bis zum 01.09.2006 ohne Zulassung weiter vermarktet werden.

Für Biozid-Produkte, deren Wirkstoffe nicht auf den mit der EG-Verordnung Nr. 2032/2003 veröffentlichten endgültigen Listen der alten bioziden Wirkstoffe der EG-Verordnung stehen, gelten keine Übergangsregelungen. Diese müssen sofort vom Markt genommen werden. Für diese kann ein Antrag auf (Neu-) Zulassung bei einer nationalen Zulassungsstelle (in Deutschland ist das die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund) gestellt werden.

VIII.1 Benchmark assessment concept for cooling water chemicals

VIII.1.1 Introduction

General

It is well established that the cooling BREF is “horizontal” in nature, and that it is not possible to identify a “BAT cooling system” as such because so much is dependent on the specific process being cooled, and its location (especially climate, water supply etc.).

Therefore, the approach to be taken in the BREF must be one of providing “tools” to help the Member State authorities rationalise what options are available, and select an optimal cooling solution (both in terms of equipment, and “operating conditions”) which will represent BAT for IPPC permitting purposes.

Firstly, in terms of “plant equipment”, such selections will mainly be made when new systems are built, but also in the context of upgrades or retrofitting of existing systems.

Secondly, the “operating conditions” which are applied in both existing and new systems have been singled out for attention in discussions. A key element of these “conditions” relates to the optimisation of the cooling system in terms of efficiency and plant longevity through the use of chemicals. BAT-based optimisation decisions will need to be made in terms of what chemicals are used, and in what quantities, for permitting purposes.

An approach has been developed within the TWG for a simple so-called “benchmarking” method to help the Member States compare different chemicals one with another on the basis of potential environmental impact. Without such a tool, the complexity of making such decisions could be a serious obstacle in determining what is BAT for cooling systems in a rational way at the local level.

As is described below, most of the main elements for establishing such a risk-based benchmarking tool can already be found in Community legislation and its official supporting documentation. The present approach seeks to draw together elements from: the IPPC Directive, the Water Framework Directive, and Risk Assessment legislation and the supporting “Technical Guidance Document” in a coherent manner, to provide a tool to help evaluate cooling chemicals.

VIII.1.1.1 Background

From its earliest meetings, the TWG agreed by consensus that any assessment of cooling water chemicals should involve both intrinsic properties and local situation characteristics (*risk based approach*).

The ensuing Benchmarking Assessment Concept arises as a result of consideration of existing assessment schemes and methodologies, and seeks to provide a starting point for proper consideration of both intrinsic properties and the local level situation in the assessment of different possible treatment regimes.

The assessment concept does not enter into a discussion of the Intrinsic Hazard Approach, but concentrates on the task of explaining and clarifying the Benchmarking (relative ranking) Procedure.

It essentially focuses on individual substances, giving brief indications of how the method could be extended to multi-substance complete chemical treatments.

Also, only the most complex case (and most frequent) of open recirculating systems (cooling systems with an evaporative cooling tower) is dealt with, with the possibility of later extension to once-through, closed systems, etc.

VIII.1.1.2 Relevant legislative background

There is no need, here, to evoke in any detail the legislative requirements which have led to the development of BAT reference documents. It is enough to mention Article 16.2 of the IPPC Directive on exchange of information, and the initiative of the Commission to develop, through the institution of the Information Exchange Forum, a tool which should assist and guide Member States Authorities to set Emission Limit Values (ELV) for IPPC Listed Plants.

It is of importance, though, to underline one of the key aspects of the Directive: the control of emissions and their impact on the environment through a “combined” method of BAT set emission limit values to be checked against environmental quality standards.

Also very relevant in this context is the shortly to be adopted Water Framework Directive (WFD).

Although it might be the case that a correct evaluation of the effects of chemical treatments used in cooling systems should be subject to a multimedia assessment, it is also correct to state that the major concerns associated to the use of these chemicals regard the main potential receiver of polluting substances: the aquatic-environment.

A few words are therefore necessary to briefly review the relevant parts of the WFD.

VIII.1.1.3 The water framework directive (WFD)

While the WFD goes much further than providing elements to prevent and control emissions from Industrial IPPC Plants, it does in fact supply one key link with the IPPC Directive. It fixes methods and procedures for the Commission to prioritize dangerous substances and to propose, for these, emission controls and EQSs (Environmental Quality Standards; or “Quality Standards”), to be adopted by the Council and the European Parliament.

Furthermore it gives to the Member States the right and the duty to fix Quality Standards for any other substances that are relevant, in any River Basin, to the achievement of the objectives set by the Directive itself.

More important than this, it introduces in an annex (Annex V Section 1.2.6) a simple procedure to be used by the Member States Authorities to calculate Environmental Quality Standards (EQSs) for chemical substances in water.

In other words, it provides one of the conditions required by the IPPC Directive to implement a combined approach: methods and procedures to calculate Quality Standards.

According to the Water Framework Directive (WFD) text (Annex V Section 1.2.6), Member States are to determine EQSs in the following way:

Test Method	Safety Factor
At least one acute L(E)C ₅₀ from each of three trophic levels of the base-set	1000
One chronic NOEC (either fish or daphnia or a representative organism from saline waters)	100
Two chronic NOECs from species representing two trophic levels (fish and/or daphnia or a representative organism from saline waters and/or algae)	50
Chronic NOECs from at least three species (normally fish, daphnia or a representative organism for saline waters & algae) representing three trophic levels	10
Other cases, including field data or model ecosystems, which allow more precise safety factors to be calculated and applied.	Case by case assessment

While a more detailed analysis of the significance and implications of this table will be made later, there are a few notes that need to be made at this point:

- a) The Quality Standards set on this basis only take into account the protection of the aquatic system, without considering the indirect-human effects
- b) The numbers resulting from the above table are Predicted No Effect Concentrations (PNEC) (See Technical Guidance Document for Regulation 793/93/EEC)
- c) The Commission has developed a Prioritization Procedure, which is based on a system in which an aquatic effect score is combined with a bio-accumulation score and a human effect score. The procedure has been used to provide the basis for the Commission's proposed "priority list" of substances to be controlled at EU level by means of emissions controls and EQSs to be adopted under the Water Framework Directive.

The following benchmarking assessment concept is also based on the above method of Calculating Quality Standards. This is for the following reasons:

- in the context of the BREF, the method must be clear, simple straight forward, transparent and easy to use
 - it is most probable, even if a lot of work is needed to prove this, that the aquatic-environment is the weakest link of the chain
 - the benchmarking methods will be used in combination with EU chemicals legislation (Intrinsic Hazards), which, implicitly includes evaluation of potential indirect adverse effects (both on the aquatic-environment and on humans) through the inclusion of bio-accumulation, the CMT properties (carcinogenic, mutagenic, teratogenic) as well as chronic effects in the classification of hazardous chemicals.
- The WFD also requires that Member States set EQS for waters intended for Drinking Water Abstraction: this will be another check point to take into account human health in one of the most important exposure routes.

VIII.1.2 Benchmarking : introduction of the concept

The Benchmarking Assessment Concept is founded on carrying out substance by substance comparisons using a standardised theoretical measure of the Predicted Environmental Concentration (here in referred to as PEC_{standardised}). This PEC_{standardised} is compared with the corresponding Predicted No Effect Concentration (PNEC) or EQS of the substance, determined in accordance with the method contained in Annex V of the Water Framework Directive. In this

way a ration can be calculated for each substance which permits a preliminary ranking of substances based on potential impact.

While the terms PNEC and PEC have now entered in the legislative language in the context of emissions law, and their significance will become common knowledge, it is worth at this point clarifying the concepts as they apply to the Benchmarking Procedure.

VIII.1.2.1 The PNEC

The Benchmarking Procedure does not attempt to rank the chemicals mentioned in the BREF itself.

The real-life situation is complicated by the fact that only rarely do chemical treatments for cooling systems consist of a single substance. The attempt to rank treatments in a BREF would imply the application of an “additive” procedure of some sort to an enormous list of possible substances combinations in the treatments. Assuming these combinations can be made available, this would require a large quantity of work and time, and would almost certainly fail to be either exhaustive or up to date.

Therefore, this Assessment Concept aims to offer a standard methodology, rather than a numerical assessment of substances or treatments.

The Member State (MS) Authorities may then use this methodology as they see fit, at MS level, or better still at local level.

At any rate, aquatic toxicity data must be available and be made available by chemical suppliers to permit evaluations of PNECs. This is a fundamental aspect of any ranking procedure.

It is worth noting, also, that the Annex V procedure, and the related table, have not been invented recently by the Commission in the context of the WFD. In fact the approach and the table have been strictly derived from the Technical Guidance Document on the assessment of Risk for Existing and New Chemicals.

(An extract of this pertinent portion is attached in VII.1.6 Appendix I).

Only a few words of clarification seem appropriate here.

The fewer data there are available the higher the assessment factor to be applied to convert toxicity data to PNECs.

The availability of chronic data reduces the factor. Progressing through a set of intermediate situations, having chronic data on three trophic levels allows the use of a factor of 10, compared to a factor of a 1000 when only acute toxicity data are available. The costs associated with performing chronic tests are much higher than the costs for acute testing. Thus it is likely that more acute than chronic toxicity data will be available.

When the Benchmarking Procedure is applied locally, the available data will have to be used together with the corresponding assessment factor.

It will be left, in this case, to the supplier of chemicals to decide whether or not to invest additional resources in obtaining chronic data, as and when this might prove necessary. For example, for a given plant it could be the case that using only acute data (which implies obtaining an EQS by dividing the LC50 by a “safety factor” of 1000 to take account of uncertainty) there may be difficulty in complying with the stringent resultant EQS. In this case the supplier might opt to obtain the more “certain”, but equally more time-consuming and more costly, chronic data. Chronic data implies dividing test result concentrations by a safety factor of only 10, which will lead to a more “certain” EQS, which may also be more achievable.

VIII.1.2.2 The PEC

The “real” PEC, in the context of chemicals used in a cooling system, must be seen and defined as the final concentration of the chemical in the river water, after discharge and after dilution with the river water at appropriate distance from the discharge.

When a chemical is used in a cooling system it is subject to a set of physico-chemical conditions which will determine its fate. As examples can be mentioned:
breakdown in the cooling system due to hydrolysis or photolysis,
adsorption by the system,
partitioning between water and air,
ending up in the sludge,
biodegradation in the cooling system itself, in the waste treatment plants (chemical/biological),
and in the river.

The portion that is not “lost” will end up in the river and will be diluted by the river flow. A precise appraisal of the final River PEC, is only possible at local level. Models and algorithms to achieve this task are available, but they must take into account the very specific conditions of each site. Obviously, also, the final PEC will depend on the amount of chemical that is fed, and this in turn depends on the size of the system and on the operating conditions (Number of cycles of concentration, size of the plant and amount of heat to be removed).

Most of the following analysis will center on describing a simple method to calculate a “standard” PEC ($PEC_{\text{standardised}}$) which, while not bearing any resemblance with real PEC values, permits a rapid, preliminary evaluation of chemicals relative to one another. It is stressed that $PEC_{\text{standardised}}$ has only a very restricted, limited value, and can only be used as a general starting point for the evaluation of the potential effects of chemicals relative to one another.

VIII.1.3 Basic cooling towers material balances

A very simple sketch of a Cooling Tower System is reported in Figure VIII.1 below.

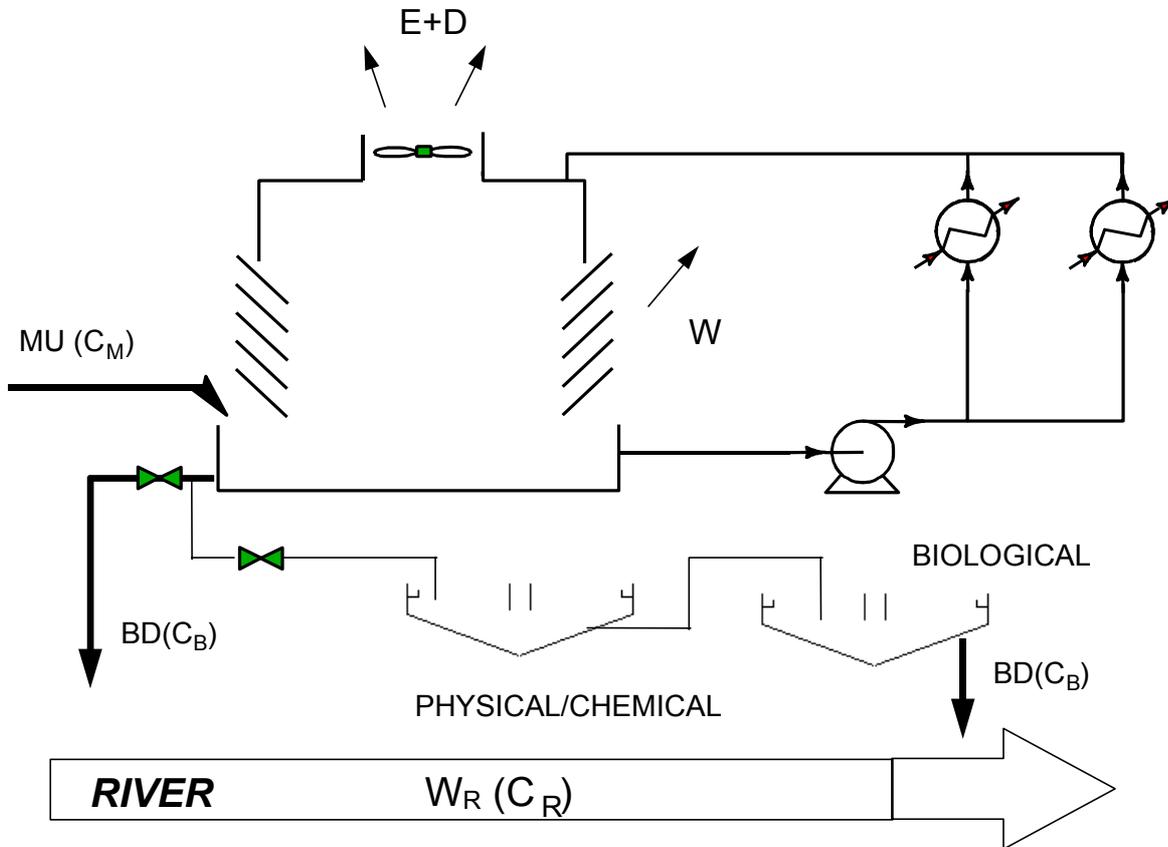


Figure VIII.1: Cooling tower material balance

VIII.1.3.1 Cooling towers basic equations

MU	: Make-Up Rate	mc/hr
BD	: Blow-Down Rate	mc/hr
W	: "Windage" (includes drift losses – "D")	mc/hr
E	: Evaporation Rate	mc/hr
C_M	: Concentration of Substance in MU	mg/l - gr/mc
C_B	: Concentration of Substance in BD	mg/l - gr/mc
N_C	: Cycles of Concentration = C_B/C_M	

VIII.1.3.2 Water balance

$$MU = BD + E + W$$

VIII.1.3.3 Material balance

$$MU \times C_M = (BD + W) \times C_B$$

VIII.1.3.4 Concentration

$$N_c = C_B/C_M = MU/BD + W$$

VIII.1.3.5 Discussion

Water enters the cooling system through the make-up line. Water must be “made-up” to compensate for the losses due to evaporation, “windage” and through the blow-down. The “windage” represents the quantity of water, which in the form of droplets escapes the cooling tower. It is assumed that the droplets carry with them the entrained chemicals at the same concentration as in the blow-down.

As water recirculates through the plant’s equipment, it takes heat with it, which in turn is taken out in the cooling tower through evaporation. No chemicals are carried-over with the water vapour (evaporated water).

The Evaporation Rate “ E”, results from design requirements. To compensate for the evaporation, windage (and blow-down losses - see below) it is necessary to continue to feed an equivalent amount of make-up water.

Make-up water, be it well water, or surface water, carries with it dissolved and suspended solids, and the concentration and type of which will vary from case to case. A portion of the recirculating water must, hence, be “blown-down” (discharged) to avoid the concentration of input substances to increase above tolerable values due to evaporation.

The value of the blow-down rate must be fixed in order to maintain an optimum concentration of substances in the recirculating water, which will avoid, together with the appropriate chemical treatment, fouling (through precipitation and deposition of solids) and corrosion.

The blow-down rate is fixed when designing the chemical treatment and operating conditions. Frequently in practice, and in older systems, the blow-down cannot be controlled. It results, at least partially, from unplanned water losses from various parts of the equipment being cooled.

The Number of Cycles of Concentration is the ratio between the concentration of substances in the blow-down and that in the make up water. For instance if the concentration of the Calcium ion in the make up is 200 ppm, with a Number of Cycles of 2, the concentration of Calcium in the recirculating water will be equal to 400 ppm.

The material balance above, shows that the Number of Cycles of Concentration is equal to the ratio $MU/(BD + W)$, and when ignoring the windage, to the ratio MU/BD .

Chemicals are fed to the cooling system either (rarely) in the make-up line, or into the cooling tower basin. A certain concentration of chemicals must be “maintained” in the recirculating water, which is equivalent to saying, maintained in the blow-down water. The higher the Number of Cycles the lower the blow-down, the more severe the conditions of the system, but the lower the quantity of chemicals continually lost.

This latest statement is true with the exception that when make-up substances are allowed to concentrate more and more in the tower, more and different chemicals may be necessary to maintain appropriate deposition-corrosion balance in the system.

In principle, though, in order to save water and chemicals (consumption, costs, and impact on the environment) a fine balance must be sought at the highest possible Number of Cycles of Concentration.

A certain concentration of treatment chemicals must be “maintained” in the recirculating water, and, hence, in the blow-down in order for the chemicals to perform their function.

Normally, in complex multi-substance treatments, it is prescribed that the level of one easily measurable substance, is controlled and maintained at the values advised by the chemicals suppliers. This corresponds to the implicit assumption that the ratio among the different chemicals stays the same, regardless of different rates of “losses” of the individual chemicals in the system.

It also corresponds to the important assumption that, if the concentration of chemicals is measured (one chemical measured, the others calculated) in the blow-down, this value corresponds to what is available in the cooling system, and that any other losses in the latter have already been taken into account.

In other words, to evaluate the impact of the chemical(s) on the aquatic-environment, only the fate, or the variations in the concentration of the chemical downstream of the blow-down line point, needs to be predicted (i.e. previously mentioned as “system” losses and the reductions in concentration, due to processes such as hydrolysis, adsorption etc -are already taken into account).

This assumption will be used in the Benchmarking Assessment Concept.

VIII.1.4 Calculation of PEC and benchmarking

Table VIII.1 below summarises the simple approach suggested for Benchmarking of single substances.

The suggested approach starts with the concept of calculating the “real” PEC_{river} , and to divide it by the correspondent EQS, as derived from the WFD.

Table VIII.1 below, shows how the “real” PEC can be calculated, and how, through successive approximations, it is possible to normalise/standardise the PEC estimation, and so render the calculation applicable for “benchmarking” purposes. If the BD rate, the River flow, and the losses of chemicals are known, the Concentration of the substance in the river results from the very simple equation (1) reported in the table.

Table VIII.1: Calculation of PEC and Benchmarking

PEC_{river}/EQS (EQS from Water Framework)C_B = Concentration in Blow-Down gr/mcC_R = Concentration in River gr/mc = PEC_{river}

BD = Blow-Down Rate in mc/hr

W_R = River Flow in mc/hr

t = (1 - % losses in Tower)

w = (1 - % losses in Waste Water Treatment Plant - WTP)

R = (1 - % losses in River)

$$(1) \quad C_R = \frac{BD \times C_B \times (t) \times (w) \times (r)}{W_R} \quad \text{Local Assessment/Predict}$$

t = 1

w = 1

r = 1

BD = 1

If also W_R = 1 we have C_B = C_R = proportional to PEC river

Equation (1), with all its elements known or calculated, can be used as such only for local level assessments.

To evaluate the losses in the cooling system, in the waste treatment plant, and in the river itself, a lot of specific data needs to be available regarding chemical and physicochemical data of each substance. This ranges from volatility, to biodegradability and deposition rate and concerns the specific conditions of the system, such as residence time of chemicals in the tower (proportional to the ratio Volume of System/Blow-Down rate), type and performance of waste treatment plants (chemical and biological), residence time in the river after initial mixing, and others.

In a “desk-top” benchmarking approach these data are not available. Hence the need for simplification and approximation.

- First of all it is assumed (see Table VIII.1) that the losses in the cooling system are taken already into account by referring to the concentration of the chemical in the blow down.
Secondly it is assumed that no losses take place in the waste treatment plant.
- This second assumption is clearly not correct in the “real world” - it puts all chemicals on the same level, whether or not they may be lost through precipitation in a chemical treatment plant, or through partial or complete bio-degradation in a biological treatment plant. Consideration may be given to introducing a correction factor for chemicals with different degrees of biodegradability; but it would also introduce a differentiation between different treatment situations, which will vary from case to case and site to site.
- Thirdly, it is assumed that no losses occur in the river, and this is normally done in risk assessment evaluations.

The key to the proposed Benchmarking approach lies in the next assumptions, that is that the Blow-Down Rate is equal to 1, and so is the river flow.

This means the PEC value has been normalised (i.e. PEC_{standardised}), to allow the comparison among chemicals, independent of Blow-Down rate (size of plant and operating conditions), and of River Flow.

It is obvious that for the same chemical the PEC will be higher in a larger plant with a higher blow-down rate, and when the plant discharges into a small river.

But this is unimportant when a set of chemicals needs to be compared (i.e. “benchmarked”). What will count for Benchmarking purposes is the feed rate of the chemical, or in other words,

the concentration which is recommended to be “maintained” in the recirculating system, and hence in the blow down. Normally chemical suppliers recommend a range of concentrations, varying from case to case: the average recommended feed rate should be used.

VIII.1.5 Computation methods

VIII.1.5.1 Single Substances

One-substance chemical treatments very rarely apply. In most cases various combinations of chemicals, inorganic and organic are used in cooling systems.

Examples of single substances are mostly related to the use of single biocides in the system, or single polymers in Waste Treatment Plants. Still, there is quite likely to remain a desire, possibly at Member State level rather than at local level, to Benchmark the most typical individual substances that are on the Market.

At local level it is easier to imagine that the necessity will arise to compare complete treatments, one against the other, rather than individual substances. A balanced vision of the overall impact of the various substances on the aquatic-environment can only be acquired at local level, when different proposed treatments have to be compared.

At any rate, the Benchmarking Procedure proposed here, does imply very simple computations for individual substances. The average prescribed concentration of the substance in the blow down is one of the terms that need to be known. It is generally expressed in parts per million (ppm) or milligrams per litre (mg/l) in the blow-down, and above we refer to this number as $PEC_{\text{standardised}}$.

The other element of the Equation is the PNEC or EQS. This may either have been already fixed by the Member State, or it will have to be “agreed” at local level using the WFD Annex V procedure, based on data furnished by the supplier of chemicals. EQSs are also normally expressed in ppm, and sometimes in ppb or micrograms per liter.

The PEC/PNEC ratio can hence be easily calculated for all the substances, which need to be assessed. The resulting value is a purely numerical ratio (if both PNEC and EQS are expressed in the same units, ppm, or ppb). The lower the ratio, the less the *potential* impact of the substance.

It is stressed once more that this Benchmarking Assessment Concept represents a standardised methodology for assessing potential impacts of cooling water chemicals, which strips out all local-specific characteristics, and all physico-chemical characteristics of substances except for toxicity. As such, it can perform a useful function in helping identify areas that require additional investigation, and in designing chemical treatments into the overall operating-design procedures of the plant. However, it is not suitable nor intended for use as a decision tool for local level assessments: the fact that one substance may have a lower $PEC_{\text{standardised}} : EQS$ ratio does not imply that this is necessarily the best choice for a particular situation once other local, plant and substance-specific factors are taken into account.

VIII.1.5.2 Complex multi-substances treatments

This will in practice most often be the case faced by local authorities and plant operators in permit applications.

Before carrying out, with the assistance of the supplier, a complete substance by substance real life PEC evaluation, which may be necessary in certain cases, the simplified benchmarking approach may be used to help design chemical treatments into the overall operating-design procedures of the plant.

Consideration may be given to using an additive procedure whereby the PEC/PNEC ratios for each individual substance is calculated with the method explained above, and they are then added together to yield a relative “index” number. This approach is similar to that used for the classification of chemical preparations based on the classification of the individual substances of which they are composed. The lower the value of the resulting sum the less is the foreseeable environmental impact of the complex treatment.

Needless to say, a sum of all the values of individual ratios, leading to a figure of less than 1 would be preferable to a result above 1. This would have meaning only when the real local dilution factor is known and inserted in the evaluation.

However, when values above 1 are found, and it is felt that, from a technical stand point the specific treatment presents other environmental/economic advantages (less water, less energy) it will be necessary to go into a more sophisticated risk assessment procedure. This may imply both a precise calculation of all the losses of the chemical in the system (fate) and a refinement of the evaluation of the PNEC (Chronic Data instead of Acute).

It would not seem that actually carrying out centrally in the BREF, or even at Member State level, a general benchmarking exercise including all possible treatments and combinations is a realistic idea. Multi-substance Benchmarking (i.e. of treatments) is more appropriately to be considered a local affair and reference is made to Section VII.2 of this Annex.

VIII.1.6 Appendix I: extract from technical guidance document

Chapter 3 (Environmental Risk Assessment), section 3.3.1 of Part II of “Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) no 1488/94 on risk assessment for existing substances”.

3.3 Effects assessment for the aquatic compartment

3.3.1 Calculation of PNEC

The function of risk assessment is the overall protection of the environment. Certain assumptions are made concerning the aquatic-environment, which allow, however uncertain, an extrapolation to be made from single-species short-term toxicity data to ecosystem effects. It is assumed that:

- ecosystem sensitivity depends on the most sensitive species; and
- protecting of ecosystem structure protects community function.

These two assumptions have important consequences. By establishing which species is the most sensitive to the toxic effects of a chemical in the laboratory, extrapolation can subsequently be based on the data from that species. Furthermore, the functioning of any ecosystem in which that species exists is protected provided the structure is not sufficiently distorted as to cause an imbalance. It is generally accepted that protection of the most sensitive species should protect structure, and hence function.

For all new substances the pool of data from which to predict ecosystem effects is very limited: only short-term data are available at the base-set. For most existing substances the situation is the same: in many cases, only short-term toxicity data are available. In these circumstances, it is recognised that, while not having a strong scientific validity, empirically derived assessment factors must be used. Assessment factors have also been proposed by the EPA and OECD (OECD, 1992d). In applying such factors, the intention is to predict a concentration below which an unacceptable effect will most likely not occur. It is not intended to be a level below which the chemical is considered to be safe. However, again, it is likely that an unacceptable effect will occur.

In establishing the size of these assessment factors, a number of uncertainties must be addressed to be able to extrapolate from single-species laboratory data to a multi-species ecosystem. These areas have been adequately discussed in other papers, and may best be summarised under the following headings:

- Intra- and inter-laboratory variation of toxicity data
 - Intra- and inter-species variations (biological variance)
 - Short-term to long-term toxicity extrapolation
 - Laboratory data to field impact extrapolation
- (Extrapolation is required from mono-species tests to ecosystem. Additive, synergistic and antagonistic effects arising from the presence of other substances may also play a role).

The size of the assessment factor depends on the confidence with which a $PNEC_{\text{water}}$ can be derived from the available data. This confidence increases, if data are available on the toxicity to organisms at a number of trophic levels, taxonomic groups and with lifestyles representing various feeding strategies. Thus, lower assessment factors can be used with larger and more relevant data sets than the base-set data. The proposed assessment factors are presented in Table VII.1.

For new substances and assessment factor of 1000 will be applied on the lowest L(E)C₅₀ of the base-set. Also for existing substances the assessment factor is generally applied to the lowest of the relevant available toxicity data, irrespective of whether the species tested is a standard organism (see notes to Table 14). For short-term tests, the L(E)C₅₀ is used, while the NOEC is used with long-term tests. For some compounds, a large number of validated short-term L(E)C₅₀ values may be available. Therefore, it is proposed to calculate the arithmetic mean if more than one L(E)C₅₀ value is available for the same species. Prior to calculating the arithmetic mean an analysis of test conditions has to be done in order to find out why differences in response were found.

The algal growth inhibition test of the base-set is, in principle, a multi-generation test. However, for the purposes of applying the appropriate assessment factors, the EC₅₀ is treated as a short-term toxicity value. The NOEC from this test may be used as an additional NOEC when other long-term data are available. In general, an algal NOEC should not be used unsupported by long-term NOECs of species of other trophic levels. However, if a chemical shows a specific toxicity to algae, the algal NOEC determined from the base-set test should be supported by a second algae species test.

Microorganisms representing a further trophic level may only be used if non-adapted pure cultures were tested. The investigations with bacteria (e.g., growth tests) are regarded as short-term tests. Additionally, blue-green algae should be counted among the primary producers to their autotrophic nutrition.

Table VIII.2: Assessment factors to derive a PNEC

Description	Assessment factor
At least one short-term L(E)C ₅₀ from each of three trophic levels of the base-set (fish, Daphnia and algae)	1000 ^(a)
One long-term NOEC (either fish or Daphnia)	100 ^(b)
Two long-term NOECs from species representing two trophic levels (fish and/or Daphnia and/or algae)	50 ^(c)
Long-term NOECs from at least three species (normally fish, Daphnia and algae) representing three trophic levels	10 ^(d)
Field data or model ecosystems	Reviewed on a case by case basis ^(e)

NOTES :

- (a) The use of a factor of 1000 on short-term toxicity data is a conservative and protective factor and is designed to ensure that substances with the potential to cause adverse effects are identified in the effects assessment. It assumes that each of the above-identified uncertainties makes a significant contribution to the overall uncertainty. For any given substance there may be evidence that this is not so, or that one particular component of the uncertainty is more important than any other. In these circumstances it may be necessary to vary this factor. This variation may lead to a raised or lowered assessment factor depending on the evidence available. Except for substances with intermittent release (see Section 3.3.2) under no circumstances should a factor lower than 100 be used in deriving a PNEC_{water} from short-term toxicity data. Evidence for varying the assessment factor could include one or more of the following aspects:
- evidence from structurally similar compounds (Evidence from a closely related compound may demonstrate that a higher or lower factor may be appropriate).
 - knowledge of the mode of action. (Some substances, by virtue of their structure, may be known to act in a non-specific manner. A lower factor may therefore be considered. Equally a known specific mode of action may lead to a raised factor).

- the availability of data from a wide selection of species covering additional taxonomic groups other than those represented by the base-set species.
 - the availability of data from a variety of species covering the taxonomic groups of base-set species across at least three trophic levels.
- In such a case the assessment factors may only be lowered if these multiple data points are available for the most sensitive taxonomic group.

There are cases where the base-set is not complete: e.g., for substances, which are produced at < 1 t/a (notifications according to Annex VII B of Directive 92/32/EEC). At the most the acute toxicity for *Daphnia* is determined. In these exceptional cases, the PNEC should be calculated with a factor of 1000. Variation from a factor of 1000 should not be regarded as normal and should be fully supported by accompanying evidence.

- (b) An assessment factor of 100 applies to a single long-term NOEC (fish or *Daphnia*) if this NOEC was generated for the trophic level showing the lowest L(E)C₅₀ in the short-term tests. If the only available long-term NOEC is from a species (standard or non-standard organism) which does not have the lowest L(E)C₅₀ from the short-term tests, it cannot be regarded as protective of other more sensitive species using the assessment factors available. Thus, the effects assessment is based on the short-term data with an assessment factor of 1000. However, the resulting PNEC based on short-term data may not be higher than the PNEC based on the long-term NOEC available.

An assessment factor of 100 applies also to the lowest of two long-term NOECs covering two trophic levels when such NOECs have not been generated from that showing the lowest L(E)C₅₀ of the short-term tests.

- (c) An assessment factor of 50 applies to the lowest of two NOECs covering two trophic levels when such NOECs have been generated covering that level showing the lowest L(E)C₅₀ in the short-term tests. It also applies to the lowest of three NOECs covering three trophic levels when such NOECs have not been generated from that level showing the lowest L(E)C₅₀ in the short-term tests.
- (d) An assessment factor of 10 will normally only be applied when long-term toxicity NOECs are available from at least three species across three trophic levels (e.g., fish, *Daphnia*, and algae or a non-standard organism instead of a standard organism).

When examining the results of long-term toxicity studies, the PNEC_{water} should be calculated from the lowest available no observed effect concentration (NOEC). Extrapolation to the ecosystem effects can be made with much greater confidence, and thus a reduction of the assessment factor to 10 is possible. This is only sufficient, however, if the species tested can be considered to represent one of the more sensitive groups. This would normally only be possible to determine if data were available on at least three species across three trophic levels. It may sometimes be possible to determine with high probability that the most sensitive species has been examined, i.e., that a further long-term NOEC from a different taxonomic group would not be lower than the data already available. In those circumstances a factor of 10 applied to the lowest NOEC from only two species would also be appropriate. This is particularly important if the substance does not have a potential to bioaccumulate. If it is not possible to make this judgment, then an assessment factor of 50 should be applied to take into account any interspecies variation in sensitivity. A factor of 10 cannot be decreased on the basis of laboratory studies.

- (e) The assessment factor to be used on mesocosm studies or (semi-)field data will need to be reviewed on a case by case basis.

For compounds with a high log Kow no short-term toxicity may be found. Also, even in long-term tests this may be the case or steady state may still not have been reached. For tests with fish for non-polar narcotics the latter can be substantiated by the use of long-term QSARs (see Section 3.2.1.2 and Chapter 4 on the Use of QSARs). It can be considered to use a higher assessment factor in such cases where steady state seems not to have been reached.

For substances for which no toxicity is observed in short-term tests a long-term test has to be carried out if the log Kow > 3 (or BCF > 100) and if the PEC_{local/regional} is > 1/100th of the water solubility (see Section 4.5). The long-term toxicity test should normally be a Daphnia test to avoid unnecessary vertebrate testing. The NOEC from this test can then be used with an assessment factor of 100. If in addition to the required long-term test a NOEC is determined from an algae test of the base-set an assessment factor of 50 is applied.

The effects assessment performed with assessment factors can be supported by a statistical extrapolation method if the data basis is sufficient for its application (see Appendix V).

VIII.2 Concept of a local assessment method for cooling water treatment chemicals, with a particular emphasis on biocides

VIII.2.1 Introduction

One of the major environmental issues identified in the industrial cooling systems BREF concerning wet cooling systems is the chemical treatment of cooling water (anti-corrosion; anti-scaling, anti-fouling, biofouling control), and the resulting emissions to surface water. Particular emphasis is placed on biocides, due to their inherent high toxicity, which is necessary as a result of the particular function they must perform.

The cooling BREF identifies three levels at which techniques may be employed to reduce the impact of cooling water additives/ biocides on receiving water bodies:

1. Preventive measures (Table 4.7)
2. Optimisation of operation, including monitoring (Table 4.8)
3. Selection & application of additives (Table 4.8)

The three levels of control interact with each other, and discussions in the TWG have established that the selection of appropriate additives is a complex exercise, which must take into account a number of local and site-specific factors.

The need to provide an outline of the concepts underlying assessment of cooling water additives/biocides has been identified as an important BAT measure to help reduce the environmental impact of additives, and biocides in particular. In this connection, the BREF contains an Annex which establishes a screening assessment tool based on existing methodologies and data (“Benchmarking Assessment”); and Chapter 3 also provides some background information on the assessment regimes used in the Netherlands and Germany.

In a horizontal BREF it is only possible and appropriate to conclude in general terms on the concepts which will facilitate the application of BAT principles regarding selection of biocides and other additives. Specific installation characteristics, climatic conditions and the local environment are key elements in the determination of a BAT compatible approach at the local level for individual installations.

The justification for the emphasis on biocides in any assessment regime is that their intrinsic properties result in them being considered to be of higher potential concern in terms of impacts on receiving water bodies. At the point of exit, discharges from cooling systems using biocides may exhibit acute toxicity. Local circumstances, the characteristics of the substances employed, and in particular the actual dilution in the receiving water, determine whether Environmental Quality Standards (EQSs) can be met. Proper selection and reduction of potential impacts resulting from biocide use can only be adequately addressed when potential impacts can be assessed. The yardstick by which a BAT-compatible approach to the application of additives/biocides can be judged is the environmental status of the receiving water body.

For the above reasons, the horizontal cooling BREF should provide guidance on how to address site-specific issues in the local level assessment of biocides used in cooling systems. Such a local assessment can be seen as a subsequent, and more detailed step following an (optional) preliminary screening exercise such as the Benchmark Method presented in the Annex VI.1.

Therefore, the BREF aims to provide guidance on the concepts relevant to assessment of local circumstances, without prescribing the methodology itself. Numerous and constantly evolving methodologies and models are available for assessing local level emissions scenarios (ranging from simple to highly sophisticated). It should be up to permit applicants and Member State authorities to select and use methodologies, which are appropriate to the local conditions and the level of concern about potential environmental effects.

VIII.2.2 Key elements

In the context of how to address minimisation of the impact specifically of biocide use in cooling systems according to the principles of BAT, there are two key building blocks that it is important to be aware of:

- The Biocidal Products Directive 98/8/EC (BPD), which since 14/5/2000 has regulated the placing on the European market of biocidal products. In this context, the EU will examine exposure scenarios in order to evaluate the risks associated with all the 23 product-categories which are covered. One of the product-types considered for authorisation covers biocides used in cooling systems (product-type 11). New biocides are to be assessed and approved immediately according to the Directive. An extension has been made for existing substances, which will be reviewed in due course.
- The future Water Framework Directive (WFD), which provides a whole host of quality related objectives. These specifically include a methodology to be used to establish Environmental Quality Standards (EQSs) for chemical substances, which is laid down in Annex V of the WFD text. The methodology for setting EQSs is identical to that used to determine conservative Predicted No Effect Concentrations (PNECs) according to the testing methods laid down in EU chemicals legislation. The method incorporates a “safety factor” of up to 1000 in order to take account of the uncertainties involved in extrapolating from toxicity testing on selected organisms to the protection of the aquatic ecosystem.

Toxicity data for biocides used in cooling systems is either already generally available, or will be made available together with data on other relevant intrinsic properties (e.g. biodegradability, bioaccumulation) according to the registration procedures laid down under the BPD. Based on this data the methodology laid down in Annex V of the WFD can be used to determine the EQS (i.e. the PNEC value) for a substance in water.

The EQS can then be compared to the Predicted Environmental Concentration (PEC) to help determine what potential there may be for impact to occur. Since the EQS corresponds to the PNEC, this is frequently referred to as a “PEC : PNEC comparison”. As noted above, numerous methods are available to calculate the concentration of substances expected to be found in receiving waters as a result of a discharge (i.e. PEC).

The PEC/PNEC value can be used as a yardstick for the BAT determination for a BAT compatible approach for biocides used in cooling systems. It should however be recognised that a certain distinction in this approach has to be made between new and existing installations. A PEC : PNEC value of <1 in the receiving water after realistic mixing & dilution could provide the yardstick (as a limit value) for biocide use in new cooling systems. For existing cooling systems where many design parameters & other installation characteristics are already established it will not always be possible to achieve PEC : PNEC <1 at a cost which is economically viable as described in the definition of BAT. In these cases the PEC : PNEC <1 should remain the target (as a benchmark), but may have to be considered a longer term goal which fits with equipment replacement cycles etc.

Figure VIII.2 shows a graphical presentation giving an example of how a BAT-compatible approach might be determined for the use of biocides in existing cooling systems. Properly optimised operation in a well designed cooling system can be considered BAT when a PEC : PNEC value <1 is achieved. For installations that cannot achieve PEC : PNEC <1 due to sub-optimal design or other local/ site-specific factors, it will be necessary to optimise the operation of the system as far as is feasible.

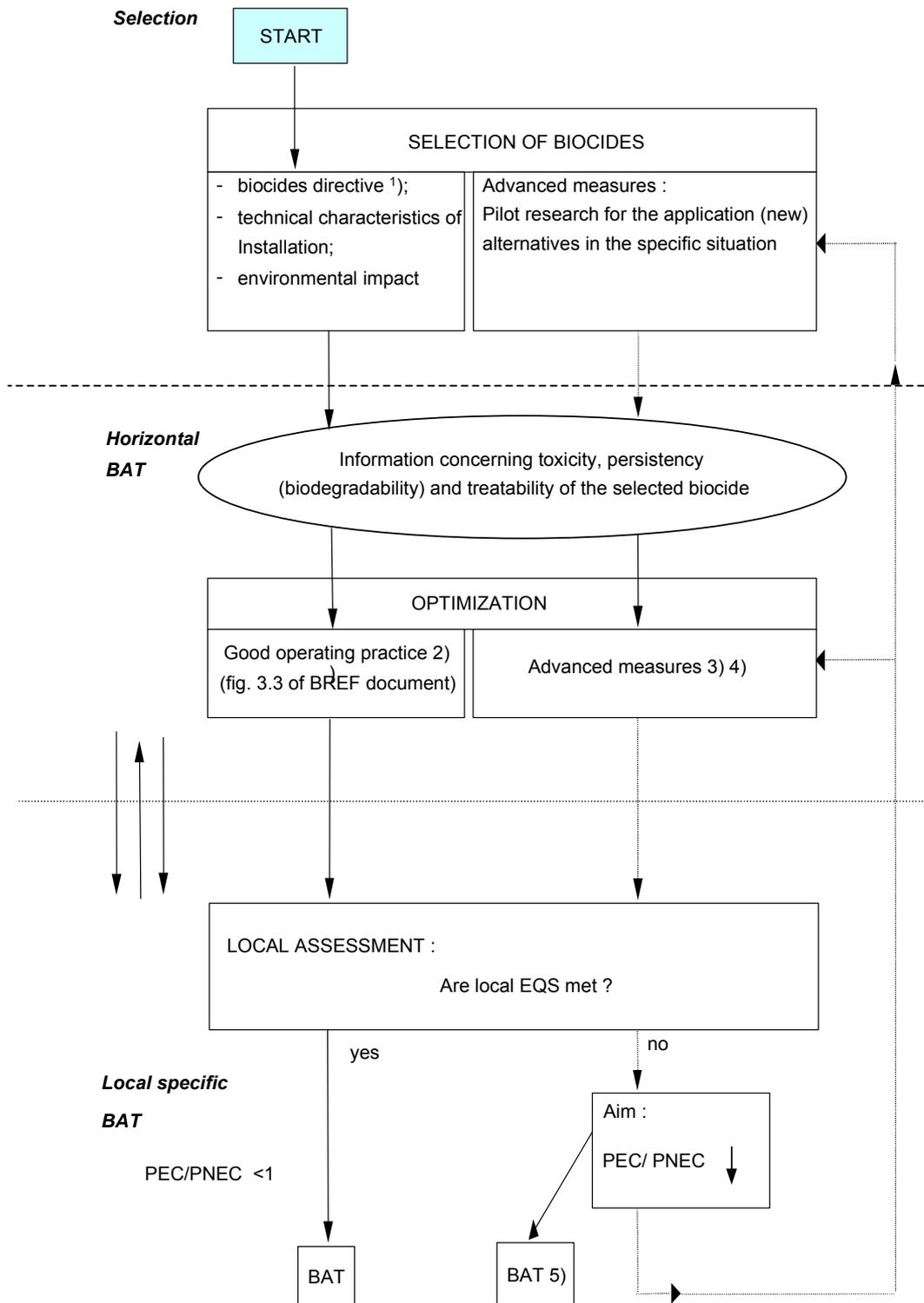


Figure VIII.2: Combined approach for the assessment of cooling water biocides for existing installations

Legend to Figure VIII.2:

- 1) implementation of this directive is under preparation;
- 2) optimisation of the use biocide due to monitoring of parameters relevant for the control of the cooling system and optimisation of dosage (prefer automatic dosage);
- 2) measures such as pretreatment, side-stream filtration can be considered. Also end-of-pipe measures can be taken into account. A choice for a measure is often situation related. A wide variety of end-of-pipe measures can be considered such as biological treatment, sand filtration, adsorption techniques, oxidation by ozone etc. etc.
- 4) in this case (normal) BAT criteria towards measures have to be applied; this means an evaluation of different aspects such as: availability of measures, economic impact of the necessary measures related to environmental impact of a measure;
- 5) in this case if we are dealing with an optimised situation in terms of implementation of measures (process control, optimisation of the use of biocides and implementation of end-of-pipe measures) all within the normal criteria of BAT for abatement measures (see 4). The result of the above evaluation represents the solution which comes closest to the aim $PEC/PNEC = 1$. Other appropriate additives (with less environmental impact) are not available. For this reason this can be considered as BAT for existing installations.

VIII.2.3 Example of proposed local assessment method

[tm004, Baltus and Berbee, 1996] and [tm149, Baltus et al, 1999]

In the following an example has been worked out according to the method which has been discussed at 29-31st May TWG Meeting in Seville and elaborated since that time into the proposal for the assessment of biocides in Annex VII of this BREF.

According to the scheme of the proposal three major steps can be distinguished:

1) The SELECTION OF BIOCIDES:

The selection of biocides is a tailor made choice for each and every cooling system, and normally is the result of expert discussions between plant operators and chemical suppliers. The benchmark methodology described in appendix VII of this BREF document can be a very use full support tool in the considerations for the selection of biocides. It should be noted that the result of this step is only a first prioritisation of possible biocides. The further elaboration in step 2 and 3 might result in a different order of preference of possible biocides.

2) The OPTIMISATION STEP :

The optimisation step includes all kinds of process-, dosage- and monitoring techniques as well as purification of make up water, side-stream filtration and process control measures such a temporally closure of the bleed of a recirculation system.

3) The LOCAL ASSESSMENT :

The local assessment is the final step in the assessment of biocides and provides plant operators, chemical suppliers and regulators a yard stick which enables them to determine to what extent operations, control techniques and measures have to be applied in order to meet local EQSs.

As example the following situation has been elaborated: a recirculating cooling system has to be treated with chemicals to prevent microbiological fouling of the cooling system. The dimensions of the cooling system are presented in Figure VIII.3.

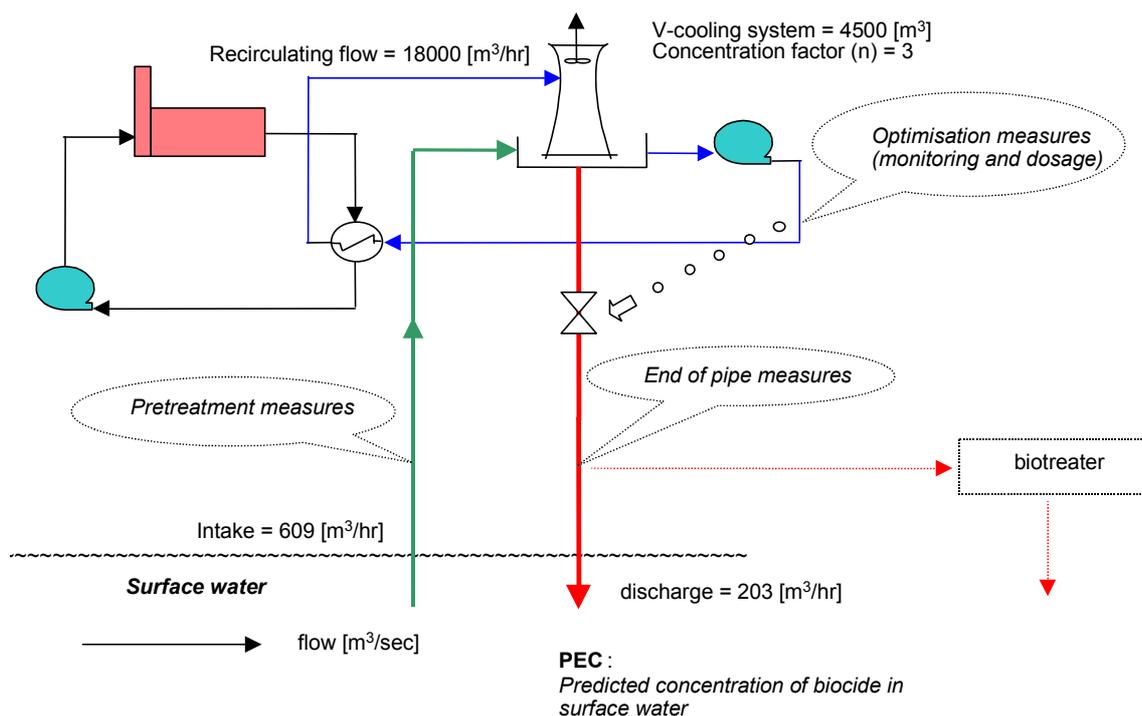


Figure VIII.3: Schematic representation of a recirculating cooling system with the data for the example of a local selection method of cooling systems chemicals

For this example the assumption is made, that the result of step 1 (Benchmark method) resulted in the selection of the biocides hypochlorite in combination with dibromonitripropionamide (DBNPA).

The optimisation in terms adequate monitoring and dosage of the hypochlorite shows that the average concentration in the effluent should not exceed a concentration of 0.2 [mg FO/l]. For the non-oxidising biocide DBPNA the optimisation results in a shock dosage at a concentration of 4 [mg/l] (frequency: once a day).

DPBNA is an additive which readily hydrolyses in water ($\tau_{1/2} = 2$ hr). This property of the additive can be a benefit in reducing the emissions from the cooling system and the realisation of a more effective use of the biocide. By closing the discharge during and after dosage for a certain period the concentration of the biocide will be reduced in the system. In this particular case, where DPBNA is been considered, the temporally closure of the bleed provides an additional (optimisation) option to reduce the amount of biocides discharged into the environment. From the operators point of view the question is: to what extent will it be possible to close the bleed of the recirculating system, in order to reduce the concentration of DBPNA through hydrolysis to a sufficient level, without hampering a good operational performance of the cooling system? This sufficient level is a concentration of DPBNA in the effluent leading to a concentration in the recipient (PEC: predicted environmental concentration) which will not exceed the EQS.

In the next table the predicted concentration of DBNPA in several types of surface water is calculated and in the last column the reduction percentage required to meet the EQS for these surface waters has been determined.

Table VIII.3: Predicted concentrations of DBNPA in different surface waters for this example

Situation: Recirculating cooling system ; discharge volume (bleed) : 203 [m ³ /hr]; biocide used : DBPNA ; Dosage : shock (daily) : concentration : 4 [mg/l] ; EQS : 7 [µg/l].							
Receiving water	Dimensions					PEC [µg/l]	Necessary reduction [%] to meet EQS
	Flow [m ³ /sec]	Width [m]	Depth [m]	Velocity [m/sec]	Dilution after discharge		
Average river	25	50	2,6	0,192	110	36,4	80,5
Large river	262	125	3,8	0,552	770	5,2	0
Small river/brook	1	10	1,5	0,067	10	400	98,5
Large canal	40	200	6	0,033	92	43,5	83,9
Small canal	2	25	2	0,04	14	286	97,6
Ditch	0,15	5	1	0,03	3	1333	99,5
Lake	-	-	1,5	0,01	3	1333	99,5

The Table VIII.3 shows that a direct discharge leads to an exceeding of the EQS for most of the selected surface waters. Only a discharge of the effluent in a large river leads to an acceptable concentration of DBPNA in surface water.

For this example the PEC is calculated using a model which is generally accepted in the Netherlands and is used by permitting authorities for a local impact assessment after BAT in a more general sense has been determined (combined approach). The Dutch model is based on the Fisher equations. The PEC is calculated at a distance of 10 times the width of the receiving water system with a maximum of 1000 m (for lakes at a distance of ¼ of the diameter). It is expected that most member states will have their own methodologies or will use dilution factors for different type of recipients to determine the PEC.

The Environmental Quality Standard for DBPNA is calculated according the methodology that has been laid down in Annex V of the Water Framework Directive. The data listed in the table below result in a n EQS for DBNPA of 7 [µg/l]. (one NOEC and 3 acute data result in a safety factor of 100; lowest concentration /100 → 7 [µg/l] [1]).

Table VIII.4: Ecological data of DBNPA

Parameter	Concentration
LC-50 (fish) 96-hr	2 [mg/l]
MIC (algae)	2 [mg/l]
LC-50 (crustacean)	0.7 [mg/l]
NOEC (fish)	4 [mg/l]

Temporarily closure of the bleed of the system is a good option to optimise the use of biocides and to decrease the load of biocides discharged when readily degradable additives are used. In the following table the necessary *time* needed to reduce the emission of biocides to such a level that EQS after discharge can be met in the surface water is presented. In the last column of this table the consequences of this closure in terms of the increase of the salt concentration in the recirculating water has been calculated.

Table VIII.5: Consequences of closing the discharge

Situation: biocide DBPNA : $k = 0,3 \text{ [sec}^{-1}\text{]}$; $\tau_{1/2} = 2 \text{ hr}$; $C_0 = 4 \text{ [mg/l]}$; $C = C_0 * \exp -(Qv/V+k)*t \text{ [1]}$; $V = \text{volume of the system [m}^3\text{]}$; $Qv = \text{discharge [m}^3\text{/hr]}$; $t = \text{time [hr]}$.			
Receiving water	Necessary reduction [%]	Necessary time the discharge is closed [hr]	Remarks
Average river	80.5	3.7	increasing concentration of salts : factor 1,2
Large river	0	0	
Small river/brook	98.5	10.7	increasing concentration of salts : factor 1,8
Large canal	83.9	4.3	increasing concentration of salts : factor 1,2
small canal	97.6	9.7	increasing concentration of salts : factor 1,7
Ditch	99.5	14.2	increasing concentration of salts : factor 2,5
Lake	99.5	14.2	increasing concentration of salts : factor 2,5

Depending on the specific situation it has to be evaluated whether or not the above-mentioned consequences in terms of concentration of the inert fraction (salts) are acceptable. On the other hand it is always possible to anticipate on these consequences by means of extra discharge before dosage and closing, which will create lower concentrations of inert fraction in the cooling system.

Further Measures:

If EQS cannot be met it has to be evaluated whether alternative biocides should be considered and/or other measures can be taken.

Examples of measures are:

- pre-treatment of the cooling water used (side-stream filtration);
- optimisation by improvement of dosage and monitoring;
- end-of-pipe treatment, e.g. treatment of blow down in biological treatment.

ANNEX IX EXAMPLE OF A MODEL FOR ESTIMATING EMISSIONS OF BIOCIDES IN THE BLOWDOWN

RIZA developed a simplified model to estimate the discharge of biocides of an open recirculating cooling tower [tm004, Baltus en Berbee, 1996]. This model assumes:

- that the major way by which biocides are lost is via the blowdown and via volatilisation, adsorption etc.
- that this blowdown is very small compared to the circulating amount of water;
- that pH and temperature are constant;
- that with shock dosage, the initial concentration is the same in the entire cooling system immediately after dosage;
- that hydrolysis is a first order chemical reaction and that the resulting dissociation rate is known;
- the volume of the purge is much smaller than the volume of the recirculating water flow.

Resulting from these assumptions, which slightly simplify reality, the following equation could be derived to calculate the fraction of a biocide that will finally be released into the receiving environment:

$$\text{Fraction (\%)} = \Phi_v \times 100 \% / (\Phi_v + kV)$$

Φ_v = purge (m^3/hr)

k = dissociation factor (hr^{-1}) ($k=0$ if substances do not dissociate)

V = volume of the system (m^3)

The difference between 100% of the substance and the actual fraction released is assumed to be hydrolysed. With no other chemical reactions assumed to take place, this model could be seen as describing the worst case. It is realistic to expect the percentage of biocide emitted in reality to be lower than the result of this model. It is important to acknowledge that this is just a model to roughly estimate the discharge and that it does not give any information on the toxicity of the purge. Especially, in the case of largely hydrolysed biocides the resulting substances can be even more harmful than the original treatment.

The dissociation factor (k) is an important factor as it is a measure of the speed with which a biocide disappears from the system by dissociation. If this happens in a very short period of time, it could be worthwhile to close the blowdown and to wait for the moment that the concentration of the biocide reaches its lowest level. To prevent the system from salting up the water in the system should be refreshed just before dosage. The blowdown has to be opened after a few hours to prevent salt concentrations to raise. It is obvious that this is more successful with fast hydrolysing than with slow hydrolysing biocides. Fast hydrolysing biocides are e.g. β -broom- β -nitrostyreen or DBNPA. A slow hydrolysing biocides is e.g. isothiazolines.

Some results from the use of this model were that with a pH of 8 and temperatures between 25-40°C biocides can still be quite persistent and can be emitted in the blowdown for more than 80%. The percentage of fast hydrolysing biocides in the blowdown appeared to be much lower (25%). It shall not be concluded that they are more favourable as their toxicity or that of their dissociation products can be very high and thus create an even less favourable situation in the receiving water.

ANNEX X INVESTMENT COSTS AND OPERATIONAL COSTS OF EQUIPMENT AND ELEMENTS OF COOLING SYSTEMS FOR NON-POWER PLANT APPLICATIONS

[tm001, Bloemkolk, 1997]

In this annex some data are presented on cost data for large industrial cooling systems. Prices in practice will vary widely as indicated by the ranges given. For smaller systems (series) costs on investment and operation will be different again, but will also show a wide variation.

The general picture shows that higher investment costs go together with lower operational costs. It is suggested that this simultaneously could indicate a lower environmental impact.

For each configuration a cost indication has been given, however calculations made on the costs of cooling systems show a wide variety and it can be concluded that the differences in costs between the different systems do not necessarily indicate the least expensive variant. Of the different factors that in the end influence overall costs the users' requirements and the legal requirements to be met are very important. For this reason an estimate of the feasibility of a system or the application of a technique should be made for each individual case. Also, the energy price has to be taken into account and especially in those cases where heat recovery is being considered it plays an important role. Costs are based on the year 1995.

An important aspect in calculating the costs of a cooling system and of possible improvements is the comparison between the initial investment costs of a system (or an applied measure) and the resulting annual costs. In practice high investment costs can lead to lower maintenance costs, but also to higher annual fixed costs, which can be an obstacle to investment itself. For the sake of comparison cost should be expressed in the heat capacity the system is designed for (kW_{th} or MW_{th}).

Elements and costs

For industrial (non-power plant) applications a number of cost-determining elements Table X.1 were listed for both water-cooled and air-cooled systems to calculate total costs and to compare the different systems. The costs are based on the cost levels of the separate parts of a cooling system. In the same reference costs and cost variations of separate elements of cooling systems were described.

Fixed costs

Costs of heat exchangers depend on type, material and size.. Plate heat exchangers are cheaper than shell & tube even in more expensive material such as titanium, but are limited in allowed pressure level. Condensers are approximately 25% more expensive than shell and tube exchangers. Materials such as stainless steel or special CuNi are more expensive than steel (up to 2-5 times). Special tubes may be 10-15% more expensive.

Costs for air-coolers primarily depend on the heat exchanging surface area and the type of fan. The required end temperature is also reported as a deciding factor. The material of the air-cooled heat exchanger generally is less important than in water cooled systems, but this also depends on the corrosiveness of the substance to be cooled.

Costs for conduits and distribution vary strongly with diameter, material and length.

Inlet and outlet provisions are an extremely location-dependent issue. Especially the length, diameter and construction of the supply and drainage pipes can determine the level of the costs. A cost level of about Euro 13000 per MW was indicated for a 300 MW installation. These costs will remain relatively high for smaller installations.

Cooling-water systems are fitted with pumps to pump the water around. Indirect systems have two cooling-water circuits and therefore need extra pumps. Pump investments vary according to

lift, capacity and material. The cleaner the cooling water the less critical is the choice of required materials.

Cooling tower prices strongly depend on model and size. Plume suppression may be required in which case the investments for the cooling tower will be about 1.5-2 times higher. Collection water trays are also part of the cooling tower installation.

The cooling tower price is partially dependent on the design space desired. A smaller approach over the cooling tower leads to a larger and more expensive cooling tower, both as regards the investment for the cooling tower itself, and as a result of energy consumption. The table below shows this with an example:

Variable costs

The variable costs of cooling systems are highly system-dependent. The most striking cost factors are (1995):

- energy (0.05-0.06 euro per kWh)
- groundwater including levy, tax and pumping (0.09-22 euro per m³)
- groundwater excluding pumping (0.09-0.11 euro per m³)
- including levy and tax drinking water (0.4-1.4 euro per m³)
- in some cases, semi-manufactured products are also used, for instance flocculated river water or raised condensation. The costs of these are lower than those of purchased water.

The determining operational aspects of cooling-water systems are the pump energy and, in the case of a cooling tower, the extra ventilator and supplement water. Furthermore cooling water treatment will add to the cost, but this varies on the applied treatment which is associated with the cooling system. Once-through generally only need biofouling control, whereas recirculating systems need additional dispersing and anticorrosion agents.

The operational costs of dry air-cooled systems consist primarily of energy costs. The energy costs of air coolers result from the use of fans. The maintenance costs of air-coolers are one-third to half of those of systems with shell & tubes.

Methodology

Different methodologies have been developed for cost comparisons between different cooling systems. The following approach is used as an example, but other costs methods are based on the same principle. The method is not accurate in absolute terms and, in other words, is not meant to be used for accurate investment estimates. It is however suitable for comparing investment costs of different cooling systems.

For the various systems universal cost factors have to be included and can be expressed as a fixed percentage of the equipment installation costs (Direct Field Costs, or DFC). These cost factors and the associated percentages in this example are:

- indirect costs (5% of investment costs)
- engineering (8% of investment costs)
- unforeseen (15% of equipment installation costs)

The investment costs and the cost factors make up the total investment costs (TIC).

Annual costs are the total of fixed costs (interest + depreciation) and variable (operational) costs. It should be kept in mind that a higher investment not only leads to higher annual fixed costs, but can also be an obstacle to investment itself. Also included in the annual costs are the maintenance costs.

Comparisons

Based on the elements above, the investment for the various cooling systems was calculated and compared. A calculation was also made of the accompanying operational costs. The total is summarised in Table X.2. In calculating annual costs the period of depreciation at a certain

interest has to be applied. The operational costs are also calculated. Annual maintenance costs are based on the total investment costs (TIC).

Table X.1: Cost elements for water and air cooling systems [tm001, Bloemkolk, 1997]

Cost type	Cost elements	Water cooling systems	Air cooling systems	
Fixed	Heat exchanger(s) (type, size and model)	X	x	
	Heat exchanger (material)	X	x	
	Pipelines in process, tube-bridges	X	x	
	Pumps/reserve pumps	X	x	
	Inlet facilities	X		
	Tube intake/drainage	X		
	Outflow facilities	X		
	Cooling tower(s) (possible)	X	x	
	Fans	X	x	
	Sound attenuation	X	x	
	Indirect system (extra heat exchanger, pipes, pumps)	X	x	
	Variable	Water (groundwater, tap water)	X	
Water discharge fee		X		
Leakage monitoring		X	x	
Water conditioning		X		
Energy consumption (pumps and fans)		X	x	
Maintenance		X	x	

Calculations have shown that the investment level and the consumption of energy determine cost sensitivity to a large extent. The variation in the costs of heat exchangers (shell & tube) due to the chosen configuration and to the choice of material is very important. Cheap materials and models determine the calculated lower limits and special materials determine the upper limit. At the same time it should not be forgotten that good materials could considerably decrease the costs of maintenance and operating, and of the use of chemicals.

Calculated as annual costs, investments and operational costs differ significantly. Factors such as (make-up) water requirement and price, and energy consumption are influential. The choice of material also has consequences for the annual operating costs. In the case dry air-cooling is applied, the achievable end temperature is important and the lower the required end temperature, the more expensive air-cooling will become. With water-cooling, low end-temperature have less affect for cost estimations, unless small approaches are used in the calculation.

Table X.2: Cost indications for water and air cooling systems for industrial applications with the exception of power plants (1993-1995)
[tm001, Bloemkolk, 1997]

System	Installation x 1000 (EUR/MW _{th})	Total investment (TIC) x 1000 (EUR/MW _{th})	Investment determined by	Operational costs x 1000 (EUR/MW _{th})	Interest and depreciation ⁶ x 1000 (EUR/MW _{th}) per year	General total annual costs (EUR/MW _{th})
Once-through (range 0.2- 10 MW _{th}) (range > 10 MW _{th}) to elements -heat exchangers ² -tubes etc. -pumps -supply/drainage	68 – 182 34 - 91 68 (36 - 136) 9.1 - 14 4.5 - 9.1 (9.1 - 14)'		- material, model - length, material - capacity, DP - location (supply/drainage)	- energy 4.5 - 6.8 - conditioning 0.5 - 1.8 - maintenance ⁵ 2.7 – 7.7		
Total	59 - 173	77 - 227		7.7 - 16	10 - 30	18 - 46
Indirect once-through	18 - 50 ^{2,3} (extra)		extra heat exchangers			
Total		100 - 269	extra heat exchangers	10 - 19	13 - 37	23 - 56
Recirculating with open wet cooling tower (range 0.2-1 MW _{th}) (range>1MW _{th}) to elements -cool tower -heat exchangers -tubes/pumps	59 - 136 45 - 68 18 - 45 ⁴ 36 – 136 14 - 23		- model - material, model - material, model exchangers heat	- supplement 6.3 - 22 - energy 6.5 - 13 - maintenance 2.3 - 9.1 - conditioning 1.8 - 4.5		
Total	68 - 203	89 - 266		19-41	11-35	30-76
Indirect recirculating with open wet cooling tower	18- 45 ^{2,3} (extra)		extra heat exchangers extra pumps	- energy 9.3 - 16 - maintenance 2.7 – 11 - conditioning 1.8 – 4.5 - supplement 6.3 – 22		
Total	86-255	112 - 331		20 - 43	14-43	34-86

Table X.2 continued

System	Installation x 1000 (EUR/MW _{th})	Total investment (TIC) x 1000 (EUR/MW _{th})	Investment determined by	Operational costs x 1000 (EUR/MW _{th})	Interest and depreciation ⁶ x 1000 (EUR/MW _{th}) per year	General total annual costs (EUR/MW _{th})
Dry air cooling						
Direct			end temperature ⁸	- energy - maintenance	1.4 - 5.4 1.4 - 3.4 ⁵	
Total	81-220	105-288		2.8 - 8.8	14-38	17-47
Indirect	extra 14-45 ^{2,3}		end temperature ⁸	- energy - maintenance	3.6 - 8.9 1.8 - 5.4	
Total	95-266	123-351		5.4- 14.3	16-46	21-60

1. see text
2. costs for extra heat exchanger depending on type
General costs factors materials:
 - steel 1
 - coated steel 1.3-1.7
 - rvs 304/316 1.5-3
 - copper 1.5-2
 - titanium 1.7-2.5
3. cost depend on heat exchanger plus extra pumps and distribution; often plate heat exchangers.
4. system is factor 2-2.5 times more expensive with steam plume suppression
5. maintenance costs 3.5%; for air-cooling 1-1.5%
6. assumes depreciation at 5% interest, where the annual fixed costs come to approx. 13% of the investments (annuities).
7. number of operating hours per year 8000
8. upper price limit for deep cooling functions up to 30° C; lower price limit for 60° C
9. no cost data known

ANNEX XI BEISPIELE VON TECHNIKEN, DIE INNERHALB DES PRIMÄREN BVT-ANSATZES FÜR INDUSTRIELLE KÜHL-SYSTEME ZU BERÜCKSICHTIGEN SIND

XI.1 Einleitung

Für die Verminderung der Umwelteinflüsse von industriellen Kühlsystemen stehen viele Optionen zur Verfügung. Der allgemeine Ansatz zielt ab auf die Vermeidung durch zweckmäßige Auslegung und Konstruktion, die bei neuen industriellen Kühlsystemen generell leichter auszuführen sind als an bestehenden Systemen. Die Anwendung von Verminderungsmaßnahmen hängt ab sowohl von der Kühlungskonfiguration als auch von den standortbedingten Begrenzungen, zum Beispiel Raum. Andere Faktoren wie der Energieverbrauch, die betrieblichen Anforderungen und wirtschaftliche Aspekte spielen auch eine wichtige Rolle. Auf der Grundlage des in Kapitel 1 dargestellten allgemeinen Ansatzes und angewendet zur Verminderung der Umweltbelastung wie in Kapitel 3 dargestellt, beschreibt dieser Anhang die Techniken und Alternativen stärker im Detail. Die Techniken können bei der Optimierung der Kühlsysteme in Übereinstimmung mit dem BVT-Ansatzes umgesetzt werden.

Die Aufstellung ist eine Übersicht über die detaillierteren Informationen über eine Anzahl von Verminderungstechniken, die von der Technischen Arbeitsgruppe (TWG) bei einem Austausch von Informationen über BVT für industrielle Kühlsysteme vorgebracht wurden. Für jede von der TWG berichtete Technik wird eine kurze Beschreibung gegeben, gefolgt vom Verminderungseffekt (quantitativ/qualitativ), medienübergreifende Wirkungen, Begrenzungen durch die Größe der Anlage, Kosten und Beispiele von Anlagen. Ähnlich der Bewertung der geeigneten Kühltechnik muss die Anwendung jeder der im Folgenden dargestellten Techniken im Licht der angewendeten oder geplanten Kühlungskonfiguration bewertet werden. Soweit eine Auswahl zwischen Techniken mit ähnlichen Umweltzielen möglich ist, sollten deren Umweltleistung und technische Anwendbarkeit die anfänglichen Auswahlkriterien sein, gefolgt von den Investitions- und Wartungskosten und den Wechselwirkungen mit anderen Umweltmedien. Im Allgemeinen standen bis jetzt für viele der beschriebenen Techniken weder die Kostendaten noch die medienübergreifenden Auswirkungen zur Verfügung; weitere Forschung ist erforderlich.

Im Hinblick auf die Anwendbarkeit und Durchführbarkeit der Techniken ist Vorsicht geboten. Die erzielten Umweltresultate wurden unter gewissen Prozessbedingungen erreicht und geben keine Garantie für ähnliche quantitative Ergebnisse in einem anderen Prozessumfeld. Die Ergebnisse sind nützlich, um die Richtung der Verbesserung zu veranschaulichen. Im Fall von industriellen Kühlsystemen weichen die Prozessanforderungen und die Größe und der Betrieb des Kühlsystems besonders stark voneinander ab und wirken sich auf die Resultate jeder angewendeten Minderungsmaßnahme aus.

XI.2 Kühlwasser durch die Wiederverwendung von Wasser einsparen

Die Anwendung von Wasser für die Kühlung ist oder könnte entweder im Allgemeinen oder durch jahreszeitliche Schwankungen in der Verfügbarkeit zeitweise eingeschränkt sein und damit regelmäßige Verknappungen erzeugen. In verschiedenen europäischen Mitgliedsstaaten wird auf die Industrie steigender Druck ausgeübt, ihre Anwendung von Wasser zu begrenzen und zu optimieren. Damit wurde großes Gewicht darauf gelegt, dass die Industrie die Technologie ändert und Durchlaufsysteme durch rezirkulierende Systeme ersetzt, falls dies möglich ist oder ihre rezirkulierenden Kühltürme mit höheren Konzentrationszyklen betreibt. Andere Optionen in Kühltürmen, die gewöhnlich angewendet werden, sind Tropfenabscheider.

Es können auch eine Reihe von Wasseraufbereitungsoptionen angewendet werden, um das verbrauchte Wasser wieder zu verwenden und es für die erneute Anwendung im Kühlzyklus vorzubereiten. Einige Vorgehensweisen zielen auch darauf ab, den Anteil der Trockenluftkühlung zu steigern, dort wo sie kein Wasser benötigt und keine der damit verbundenen Probleme auftreten, während andere Überlegungen eine Begrenzung dieser Option (Klima, Investitionskosten, Raum) sein könnten.

Eine Übersicht der Aufbereitungsmethoden zeigte die folgenden Optionen auf [tm065, Meier und Fulks, 1990]:

- Kalte Kalkenthärtung
- Enthärtung im Hochtemperaturverfahren
- Konzentratoren für Salzsolen
- Biologische Aufbereitung
- Umkehrosmose
- Umkehr-Elektrodialyse
- Verdunstungsbecken

Von diesen Optionen verlangen die Umkehrosmose und die Umkehr-Elektrodialyse Prozesse sehr viel Energie und erweisen sich als relativ teuer. Die Enthärtung im Hochtemperaturverfahren ist sehr effizient, hat jedoch den Nachteil, dass zusätzliche Kühlung oder Rückgewinnung von Wärme erforderlich ist. Die biologische Aufbereitung wird angewendet, um organische Stoffe aus dem Wasser zu entfernen und ist besonders interessant als Teil eines Programms für die Aufbereitung von abfließendem Abwasser, das als Zusatzwasser angewendet werden soll. Verdunstungsbecken sind eine einfache Methode zur Verminderung von Abwasserströmen aus Anlagen. Ihre erforderlichen Größen und die Begrenzungen bei der Entsorgung der Schlammreste können ihre Anwendung unmöglich machen.

XI.2.1 Wiederverwendung von (Ab-) Wasser als Zusatzwasser für Kühltürme

[tm066, Phillips and Strittmatter, 1994] und [tm064, Meier, 1990]

Beschreibung

Wasser aus dem Innen- oder Außenbereich der Anlage kann als Zusatzwasser für Kühltürme angewendet werden. Sowohl Prozessabflüsse aus dem Inneren der gleichen Anlage als auch Abflüsse von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen können angewendet werden. Die Chemie des Wassers ist wichtig. Ein „Wasseraudit“ kann für jeden Teil der Anlage eine vollständige Wasserbilanz erstellen²⁰. Diese Prüfung sollte insgesamt Informationen liefern über die Chemie des Kühlturmwassers, die Konzentrationszyklen, den Speicherzeitindex, die Geschwindigkeit, die Systemmetallurgie, die Temperaturen und die vorliegende Aufbereitungschemie und Betriebsleistung. Manchmal muss das Wasser zuerst gefiltert werden und es kann eine große Auswahl von Filtrierungsmethoden angewendet werden, die jedoch im Rahmen dieses Dokuments nicht angesprochen werden.

Die Chemie des Wassers entscheidet über die chemische Aufbereitung, die im Kühlturm erforderlich ist, um die Anzahl der Zyklen aufrechtzuerhalten. Es wurde besonders über das Auftreten eines steigenden Grads an Korrosivität berichtet. In einigen Fällen kann der begrenzende Konzentrationsfaktor erweitert werden durch die Anwendung von Kesselsteininhibitoren, um die Konzentrationszyklen zu steigern oder durch die Anwendung von Techniken wie die Umkehrosmose, um gelöste Feststoffe zu entfernen.

Verminderung:

Der Prozentsatz der Verminderung ist weitgehend abhängig vom Bedarf des rezirkulierenden Kühlsystems und der Verfügbarkeit von wiederverwendbarem Wasser zum erforderlichen Zeitpunkt. Es wird über Prozentsätze von bis zu 15 % berichtet.

Medienübergreifende Auswirkungen:

Abfall als Filtrierungsrückstand wegen der Filtrierung des Wassers vor der Anwendung kann entsorgt werden müssen. Die Einsparung an frischem Wasser muss bewertet werden im Vergleich zu den Umwelt- und Betriebskosten der zusätzlichen Anwendung von Zusätzen zur Aufbereitung des Abwassers. Die chemische Behandlung der wiederzuverwendenden Wassers kann sehr komplex sein und zusätzliches Personal zum Betrieb des Systems erfordern.

Grenzen der Anwendung:

Die Wiederverwendung von Wasser ist eine Option sowohl für neue als auch bestehende Anlagen, unabhängig von ihrer Größe. Für größeren Bedarf kann jedoch möglicherweise die Versorgung mit alternativen Wasserquellen nicht ausreichend sein. Organischer Gehalt (BSB) kann ein begrenzender Faktor sein, der geprüft werden muss.

²⁰ Anmerkungen zur Übersetzung: Die Anforderungen an Abwasserkataster gemäß den Teilen B der Anhänge zur Abwasserverordnung sind zu beachten.

Kosten:

Die Kostenangaben weichen stark voneinander ab und sind für die Anlage ganz typisch. Es sind keine schlüssigen Daten bekannt.

Anlagenbeispiele:

Bei Raffinerien wurde gezeigt, dass kommunales Abwasser als Zusatzwasser genutzt werden kann [066, Phillips und Strittmatter, 1994]. Ein Beispiel für die Anwendung der Nullabflutung wurden beschrieben in [tm064, Meier, 1990].

Überlegungen:

Typische Probleme, auf die man bei der Anwendung von Abwasser trifft, sind:

- die höhere mikrobiologische Aktivität wegen der gelösten Nährstoffe;
- gesteigertes Risiko der Verkrustung wegen der höheren Konzentrationen an gelösten Salzen;
- Verschmutzungsprobleme als Folge der hohen Konzentrationen an Eisen und/oder gelösten Feststoffen;
- Korrosionsprobleme wegen der hohen Konzentrationen an gesamten gelösten Feststoffen (Total Dissolved Solids – TDS);

Die Möglichkeiten, den oben genannten Problemen erfolgreich zu begegnen, sind abhängig von der Zusammensetzung des Abwasserstroms. Kommunale Abwässer unterscheiden sich stark in der Wasserqualität (typischerweise enthalten sie relativ hohe Konzentrationen an Ammoniak und Phosphat, zusätzlich zu bedeutenden Konzentrationen an gelösten organischen Stoffen). Außerdem enthält kommunales Abwasser typischerweise eine verhältnismäßig hohe Konzentrationshärte, die zur Kesselsteinbildung führen kann. Hohe Konzentrationen von Eisen und/oder schwebenden Feststoffen können zu Verschmutzungsproblemen führen. Der Gesamtabfluss einer Raffinerie kann hohe Konzentrationen an Öl, Schmierfett und schwebenden Feststoffen enthalten, die den Bedarf an oxidierenden Bioziden steigern können.

XI.2.2 Nullableitungssystem

[comment, D]

Beschreibung:

Ein abgestuftes Kühlsystem wird angewendet, um jegliche flüssige Ableitung aus der Abflutung des Kühlturms zu beseitigen.

Das Abfluten aus dem primären Turm wird durchgeführt, um den Salzgehalt innerhalb der Grenzen der guten betrieblichen Praxis zu halten. Wasser, das eine hohe Konzentration von unlöslichen Salzen (Kalziumsalze) enthält; wird umgewandelt in Wasser mit einem hohen Gehalt an gut löslichen Salzen (Natriumsalze). Dieser Prozess wird in einen Enthärtungsreaktor/ Klärer durchgeführt.

Danach fließt die Abflutung in einen Direktosmose (DO)-Membranenkonzentrator, der Wasser aus der Abflutung durch Membranen in eine Natriumchlorid-Lauge zieht. Diese Salzlauge wird in einem sekundären Kühlturm, dem sogenannten Salzlaugenkühlturm, rekonzentriert. Dabei wird Abwärme aus dem Hauptkondensator als Energiequelle angewendet. Der Salzlaugenkühlturm hat einen viel niedrigeren Wasserdurchsatz als der primäre Turm. Ein typisches Verhältnis des Salzlaugendurchsatzes zum primären Durchsatz ist 1 zu 750.

Das Konzentrat aus dem DO-Membranensystem wird in einem kleinen Kristallisator weiter konzentriert. Dabei werden die Feststoffe entfernt und außerhalb der Anlage entsorgt. Die flüssige Ableitung aus dem Kristallisator wird zu dem Salzlaugenturm zurückgeführt.

Verminderung:

Die Wiederverwendung des primären Abflutungswassers wird mit ca. 75 % angegeben, wobei der restliche Teil (ca. 16 %) im sekundären Kühlturm verdunstet oder als Restfeuchtigkeit in den zu entsorgenden Feststoffen verbleibt.

Die Anwendung von Abwärme im Salzlaugenkühlturm vermindert die Kühllast auf dem primären Turm um rund 3,5 MW bei einer Abflutung von 45m³/h.

Medienübergreifende Auswirkungen:

Niedrigere Kühllast auf dem primären Turm. Es wird eine gewisse Energiemenge für den Betrieb des abgestuften Kühlsystems benötigt. Die Emissionen in der Abflutung werden nicht in ein aufnehmendes

Oberflächenwasser abgeleitet, sondern in Abfall umgewandelt. Der Abfall erfordert eine Entsorgungsmöglichkeit.

Grenzen der Anwendung:

Das System ist dort effizient, wo strenge Umweltbeschränkungen im Hinblick auf die Ableitung von Abwasser bestehen. Das System ist eine Option für neue Kraftwerke und Chemiefabriken, es kann jedoch auch eine Nachrüstungsoption für bestehende Anlagen sein.

Kosten:

Die Kapitalinvestition für dieses System ist höher als für vom Betriebssystem unabhängige Nasskühltürme. Es wird behauptet, die Kosten der Kapitalinvestition für einen Nasskühlturm mit diesem System seien bedeutend niedriger als für ein luftgekühltes System der gleichen Kapazität. Die Betriebskosten im Hinblick auf den Energiebedarf können wegen der Anwendung von Abwärme im Hauptkondensator niedriger sein.

Die Betriebskosten des abgestuften Kühlsystems und die Kosten der Entsorgung der Feststoffe müssen bewertet werden im Vergleich zu den Umweltkosten für die Aufbereitung und Ableitung des Abwassers.

Anlagenbeispiel:

Innerhalb der Europäischen Gemeinschaft wird über keine bestehende Anlage berichtet. Mehrere Anwendungen können in den USA gefunden werden.

Überlegungen:

In den konventionelle Technologien für die Wiederverwendung von Wasser (zum Beispiel Salzlaugen-Konzentratoren) sind die erzeugten Salzlaugen mit hohen Temperaturen äußerst korrodierend und erfordern exotische Materialien und fortlaufende Wartung. In dem beschriebenen System ermöglicht der Betrieb der DO mit niedrigem Druck (ca. 1,5 bar) und niedrigen Temperaturen (weniger als 32°C) die Anwendung von HDPE PVC und anderer nicht-korrosiven Materialien in Bereichen, in denen die Korrosion Besorgnis erregen kann. Weitere Erfahrungen zeigen, dass der Kristallisator kleiner als in konventionellen Systemen ist. Beides führt zu geringerer Wartung.

Der Betrieb ist einfach und erfordert keine spezialisierte Ausbildung. Es ist keine zusätzliche biologische Aufbereitung erforderlich.

Es bedarf der örtlichen Überlegung, ob die Umweltkosten der nicht durchgeführten Ableitung in das Oberflächenwasser schwerer wiegen als die Umweltkosten der Abfallentsorgung.

XI.2.3 Sprühbecken

[tm154, Besselink et al, 1999]

Beschreibung:

In der Vergangenheit wurden Sprühbecken dazu benutzt, das Kühlwasser herunterzukühlen und einige davon können in Europa noch im Betrieb sein. Zur Zeit wird die Forschung über die Eignung eines Sprühbeckens für die industrielle Anwendung zur Verminderung der thermischen Ableitung und zum Einsparen von Wasser durchgeführt. Eine Machbarkeitsstudie untersucht die Anwendung eines Sprühbeckens und die Energieeinsparung im Vergleich zu einem Kühlturm mit einer Kapazität von 18-21 MW_{th}. Es wurde ein Modell entwickelt, das die Leistung eines Sprühbeckens in Abhängigkeit von Wetterbedingungen, den Abmessungen der Sprühdüsen und den Charakteristika des Sprühbeckens (Oberflächenbereich, Wasserqualität) berechnet. Mit dem Modell sollte es dann möglich sein, für alle spezifischen örtlichen Bedingungen die erforderliche Sprühbecken Auslegungen durchzuführen..

Der gesamte oder ein Teil des Kühlwasserstroms wird durch Sprühdüsen zu einem Becken geleitet. Das Sprühen verbessert die Kühlung und in der Theorie ist die Kühlleistung eines Sprühbeckens rund 36 mal höher als die eines Kühlbeckens. Sprühbecken kühlen über die Verdunstung, Wärmeleitung und Konvektion. Bei hohen Lufttemperaturen ist die Verdunstung am wichtigsten, aber die Wärmeleitung und die Konvektion sind unter kalten Wetterbedingungen wichtiger. Die Kapazität ist abhängig von der Oberfläche, den Wetterbedingungen (Windgeschwindigkeit), Sprühdüsen und Charakteristika des Sprühens. Die Wärmeableitung eines wirkungsvollen Sprühbeckens kann 722 J/m²K betragen.

Verminderung:

Die Ergebnisse für das untersuchte Kühlsystem zeigen im Vergleich zum Energieverbrauch eines Kühlturms eine potentielle Energieeinsparung, die rund 6,5 kW_e pro MW_{th} der Kühlung betragen kann. Dies entspricht einer Senkung der CO₂-Emissionen von rund 38 Tonnen pro MW_{th} pro Jahr.

Medienübergreifende Auswirkung:

Durch Sprühen des Wassers treten Aerosole auf. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung der biologischen Kontamination. Deshalb, und besonders im Sommer, erfordert der Betrieb eines Sprühbeckens ein angemessenes Wasserbehandlungsprogramm.

Anwendung:

Der Mangel an ausreichendem Raum vor Ort wird die Optionen für ein Sprühbecken begrenzen. Dies hängt von der erforderlichen Kapazität des Kühlsystems ab. Für große Systeme kann es möglicherweise keine Option für den gesamten, aber für einen Teil des Kühlwasserbedarfs sein und die Wasseraufnahme vermindern. In den USA wenden verschiedene konventionelle Kraftwerke (bis zu 500 MW_e) Sprühbecken an, Atomkraftwerke setzen sie für die Kühlung im Notfall ein.

Kosten:

Investitionen in Sprühbecken sind etwas vorteilhafter als Investitionen in Kühltürme, falls sie die Kosten für die Energieversorgung beinhalten und auch die Kosten für den Grundstückskauf berücksichtigen. Der Unterschied ist größer, falls der Kauf des Grundstücks nicht berücksichtigt wird, aber dies hängt natürlich vom Preis des Grundstücks ab.

Tabelle XI.1: Investitions- und Energiekosten pro MW_{th} für Sprühbecken und Kühlturm
[tm154, Besselink et al, 1999]

Kosten	Sprühbecken	Kühlturm
Investition ('000 €/MW _{th})	39 (25)	48
Sprüh- und Ventilatorenergie (kW _e /MW _{th})	4	11
Auslegbarkeit	zuverlässig	zuverlässig
Anmerkungen: Kapazität 18-21 MW _{th} Kühlung von 32°C auf 24°C		

Referenzanlage:

Dow Europe, Terneuzen (NL).

Überlegungen:

Obwohl sie auf einer bestehenden Technik beruhen, befinden sich die gegenwärtigen Änderungen noch in einem Stadium der Forschung. Die Anwendung könnte unter den Umständen besonders interessant sein, wo die Begrenzungen der Wärmeableitung zu Begrenzungen der Produktionskapazität führen, was während der Sommermonate bei Kraftwerken vorkommt. Ein Sprühbecken kann auch unter der erwarteten Zunahme der Begrenzungen für die Anwendung von Grundwasser gesehen werden.

XI.2.4 Lagerung zur Abkühlung

[Comment-1, Belgium]

Beschreibung:

Eine spezielle Anwendung für die kleinere industrielle Anwendung ist die unterirdische Lagerung von Wasser, um es abzukühlen. Hier wird nach der Anwendung erwärmtes Grundwasser an einem angrenzenden Ort über einen längeren Zeitraum unterirdisch gelagert, wo es abkühlt. Es ist auch möglich, das Wasser an der Oberfläche zu lagern und zum Beispiel im Winter die Luftkühlung anzuwenden. Danach wird das unterirdisch gelagert und (im Sommer) angewendet. Diese Anwendung wird hauptsächlich dort eingesetzt, wo Kühlbedarf auf einem Niveau von rund 6 – 9°C besteht.

Verminderung:

Im Vergleich zur Anwendung von kleinen Kühltürmen wird eine Verminderung der Energie- und Betriebskosten um 40 – 80 % berichtet.

Medienübergreifende Auswirkung:

Unbekannt

Begrenzungen der Anwendung:

Im Fall einer industriellen Anwendung zusätzlich zur Kühlung mit Kühltürmen wird die Anwendung oberhalb eines Minimums von 150 kW interessant. Die Kühlung von mehreren MW wurde bereits realisiert. Bis jetzt ist die Anwendung begrenzt. Beispiele sind der Bau von Versorgungseinrichtungen und der Gartenbau im Gewächshaus.

Kosten:

Nicht angegeben

Referenzanlage:

Nicht verfügbar

Überlegungen:

Die Technik befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Eine vollständige industrielle Anwendung wurde nicht erwähnt.

XI.3 Verminderung der Emissionen durch optimierte Kühlwasseraufbereitung

In der Einleitung zu dem Abschnitt über Einsparungen von Kühlwasser wurde eine Anzahl von Aufbereitungen aufgeführt, die angewendet werden können, um das ausströmende Wasser für die Wiederverwendung als Zusatz für rezirkulierende Kühlungssysteme vorzubereiten. Die gleichen Techniken könnten bei Wasser aus einer natürlichen Quelle angewendet werden, um die Chemie des Wassers zu optimieren und gleichzeitig die Notwendigkeit für ein umfassendes Wasserbehandlungsprogramm zu minimieren. Wie vorher dargelegt bezieht sich die Anwendung stark auf die Chemie des Wassers und den Bedarf des Kühlsystems.

XI.3.1 Seitenstrom-Biofiltrierung in einem offenen rezirkulierenden Kühlwassersystem [tm 146, Savelkoul, 1999]

Beschreibung:

Aus vielen Gründen ist es wirtschaftlich interessant, ein offenes rezirkulierendes Kühlsystem auf der Basis einer minimalen Abflutung zu betreiben. Dies führt jedoch zu einer verstärkten biologischen Aktivität im Kühlwasser, die oft durch die Anwendung von Bioziden behandelt wird.

Neben anderen Faktoren sind biologische Aktivität und Wachstum in erster Linie von der Verfügbarkeit von Nährstoffen abhängig. Ungeachtet des Kühlsystems, der Zirkulation des Wassers oder des Klimas überlebt die biologische Aktivität nicht unter den Bedingungen des Nährstoffmangels. Deshalb sollte jede Aufbereitung darauf abzielen, das biologische Wachstum durch das Entfernen von gelösten Nährstoffen aus dem Kühlwasserkreislauf zu vermindern. Für eine wirkungsvolle Aufbereitung ist das sogenannte Totvolumen (oder das Kreislaufvolumen) des Kühlwassersystems wichtig. Es ist schließlich dieses Totvolumen, das in einem Filter aufbereitet und danach bei niedrigen Konzentrationen und Frequenzen gechlort wird.

Dies kann durchgeführt werden, indem man eine kontinuierliche Sandfiltrierung mit einem Seitenstrom durchführt, wobei der Filter die gelösten Nährstoffe zerlegt und gleichzeitig die schwebenden Mikroorganismen und sonstige gelöste Feststoffe herausfiltert. Folglich wird weniger Chlor benötigt und höhere Konzentrationszyklen sind möglich.

Diese Technik kann verbessert werden durch die Bildung einer aktiven Biologie mit einer hohen Konzentration von Mikroorganismen im Sandfilter; dies wird Seitenstrom-Biofiltrierung genannt. Um eine aktive Biologie aufrechtzuerhalten, werden die Sandfilter während der Zeiträume mit hohen Konzentrationen an Biozid (Chlor) im Kühlwasserkreislauf umgangen, da diese hohe Konzentration die Biologie im Sandfilter ebenso wie deren Wirkung im Kühlwasser zerlegen würde. Sobald die Chlorkonzentration wieder vermindert ist, wird das Kühlwasser wieder durch den Sandfilter geleitet. Dies heißt in der Praxis, dass das Kühlwasser nur zu begrenzten Zeiten durch den Filter laufen muss, bis hinunter zu nur ein- bis zweimal am Tag.

Die Anwendung erfolgte in einem offenen rezirkulierenden System mit einer Kapazität von 152 MW_{th}, einem Wasserkreislaufstrom von 11.000 m³/h und einem Kreislaufvolumen von 3.500 m³. Das vorliegende System verwendete zwei Filter mit einer Filterfläche von 5 m² und rund 10 kg VSS/m³ an Filter, 4 m Filterbetthöhe, Filtersand (von 1,4 – 2,0 mm und 0,8 – 1,25 mm). Das Auslegungsmodell basierte auf einem Reaktionsmechanismus erster Ordnung für die Entfernung von Nährstoffen mit einer Reaktionszeitkonstante im Sandfilter von 6,0 /h (= Sand 0,8 – 1,25 mm, damit 3.800 m²/m³) und 4,5 /h (= für Sand von 1,4 – 2,0 mm, damit 2.250 m²/m³). Im Vergleich zum zirkulierenden Wasser verringerte dies die Wachstumsgeschwindigkeit der Organismen auf der Abfluss-Seite des Filters bedeutend.

Verminderung:

Die sich ergebenden Verminderungen waren abhängig von der optimierten Kombination der Abflutung, der Anwendung von Bioziden und der Anwendung der Seitenstrom-Biofiltrierung. So hängt zum Beispiel das Funktionieren des Sandfilters vom Fluss des Teilstroms, dem Strom des Spülwassers, der Sandzirkulation, dem Widerstand des Filters und der Wassertemperatur ab. Die Leistung des Filters wird vermindert durch höheren Durchfluss (höherer hydraulischer Druck), was einer kürzeren Kontaktzeit entspricht, und durch die Anwendung größerer Sandpartikel, was eine geringere spezifische Oberfläche bedeutet.

Die Resultate zeigen einen erhöhten Konzentrationsfaktor (5,0 bis 5,5) bei einer gleichzeitigen Verminderung der Cl-Dosierungsfrequenz von weniger als einmal alle zwei Tage (0,42/Tag). Dies bedeutet eine verminderte Abflutung von 12 %, verminderte Wasseraufnahme von 2,4 % und die um 12 % verminderte Anwendung von Zusätzen oder siebenmal weniger Chlor für die gleiche Wirkung.

Wegen der niedrigeren Dosierung von Chlor bleibt die Konzentration an korrosiven Bestandteilen (dargestellt als die Summierung von Chlor und Sulfat) innerhalb des erforderlichen Bereichs für dieses System (max. 86 ppm Cl⁻, bzw. 77 ppm HSO₄⁻). Dies erklärt die erreichte Reduzierung der Abflutung um 12 % aufgrund des Biofilters, die auf der gleichen Korrosivität des Wassers basiert.

Medienübergreifende Auswirkung:

Falls die Reduzierung der Chlorung der Ausgangspunkt für die Anwendung der Seitenstrom-Biofiltrierung ist, so werden alle anderen erwähnten Resultate als positive medienübergreifende Effekte angesehen. Die Daten für den zusätzlichen Energiebedarf der Pumpen wurden nicht erwähnt.

Eine separate Pumpenausrüstung wird vermieden und die Leistung des Biofilters wird maximiert, indem man den warmen Abfluss des Kühlwassers direkt zum Seitenstromfilter leitet und der Abfluss aus dem Filter direkt in das Becken des Kühlturms geleitet wird. Ein Teilstrom des warmen Filterabflusses läuft dann de facto an den Einbauten des Kühlturms vorbei und wärmt das Kühlturmbecken mit im Durchschnitt 0,15 K auf, was einem erhöhten indirekten Energieverbrauch von 0,5 kW_{th}/MW_{th Kühlung} entspricht. Eine separate Pumpe für den Transport des Biofilterabflusses zurück zur Wasserkammer des Kühlturms, wobei der statische Druck 14 Meter Wassersäule (mws) beträgt, kann diesen Nachteil verhindern. Im Durchschnitt müssen 1½ m³/h pro MW_{th Kühlung} gepumpt werden; dies entspricht einem direkten Energieverbrauch 0,1 kW_e/MW_{th Kühlung} oder 0,25 kW_{th}/MW_{th Kühlung} (bei 40 % der Leistung des Kraftwerks). Dies ist im Vergleich zum üblichen (in)direktem Energieverbrauch für Kühlturmprozesse ebenfalls ziemlich begrenzt.

Die eingesparte Energie auf der Grundlage des verminderten Verbrauchs an Natriumhypochlorit ist auch sehr begrenzt (1 Liter 15 %-ige Lösung pro Tag pro MW_{th Kühlung} entspricht der Oxidationsmittel-„Produktion“ von 1 kW_{th} für eine Stunde pro Tag pro MW_{th Kühlung} oder 0,04 kW_{th}/MW_{th Kühlung}). Die eingesparte Energie auf der Grundlage des verminderten Zusatzwassers wegen der um 12 % reduzierten Abflutung von 0,04 m³/hr per MW_{th}, ist ebenfalls unerheblich, selbst wenn die Transportenergie für das verminderten Zusatzwasser berücksichtigt wird.

Allgemein gesehen ist die Netto-Energiebilanz all dieser Unterschiede in der Energie aufgrund des Biofilters unerheblich und liegt in der Größenordnung von 1 % des normalen direkten Energieverbrauchs für Kühlturmprozesse von 20 kW_{th}/MW_{th Kühlung} (siehe Tabelle 3.2). Diese niedrigen Zahlen werden erwartet, da nur 1 bis 2 % der Strömung der Kühlwasserzirkulation im Allgemeinen für den Biofilter erforderlich sind, um die Mikro-Verschmutzung in den Wärmetauschern zu vermeiden.

Begrenzungen der Anwendung:

Bei einer entsprechenden Verbesserung der Filterkapazität scheint es keine Begrenzung der Anwendung zu geben. Sie kann für bestehende Kühlsysteme angewendet werden.

Kosten:

Die Kosten sind abhängig vom Umfang der Anwendung und den erzielten Resultaten, die sich in verminderten Betriebskosten niederschlagen. Die Betriebskosten der Chlorung wurden um 85 % vermindert. Für das aufgeführte Beispiel wurde die Amortisationszeit für die Investition auf drei bis vier Jahre geschätzt.

Referenzanlage:

DSM, Geleen (Niederlande) und Dow Benelux, Terneuzen (Niederlande)

Überlegungen:

Der Teilstromfilter wurde ausgelegt für eine absichtlich niedrige Leistung bei der Entfernung von Nährstoffen, indem man eine hohe lineare Geschwindigkeit von 25 m/Std. anstelle von 10 – 14 m/Std. wählte, die in der Regel nur für die Entfernung von schwebenden Stoffen angewendet wird. Hohe Entfernungsleistungen von Nährstoffen werden mit einem Gegenstrom-Sandbettfilter erreicht, falls der Zufluss mindestens oberhalb von 200 KBE als ATP (= Keimbildendeinheiten dargestellt als Abnahme von Adenosintriphosphat) und vorzugsweise 600 KBE liegt als ein Kriterium für den Start der Schockdosierung von Natriumhypochlorit. Dies geschieht zusammen mit den hohen linearen Geschwindigkeiten, um anaerobe Bedingungen zu verhindern.

Die Chlorungskriterien eines Kühlturmsystems ohne einen Seitenstrom-Biofilter betrafen die Halbierung der Mikro-Organismen aufgeführt als 500 bis 250 KBE als ATP mittels einer Reaktion erster Ordnung ($= 0,5 [1/h]$); dies wurde erreicht mit 1 Liter Natriumhypochlorit-Lösung von 15 % pro MW_{th} für jede Schockdosierung.

Die organische Belastung auf dem Filterbett wird zu 10 kg organische Stoffe pro m^3 des Filterbetts und zusammen mit einer gewünschten Kontaktzeit von 10 Minuten wird es erforderlich, auf eine Sandhöhe von 4 m auszulegen, was die Kapitalkosten weniger beeinflusst als die Vergrößerung des Filterdurchmessers. Die Oberfläche des Filters betrug für jede 15 MW_{th} 1 m^2 , was zu einem Filterdurchfluss von 1,7 m^3/h pro MW_{th} führt. Dies entspricht fast der Verdunstungsrate von 1,3 m^3/h pro MW_{th} zusammen mit einer leicht verringerten Abflutung von 0,3 m^3/h aufgrund des eingebauten Filters. Tatsächlich läuft jeder Tropfen des zirkulierenden Kühlwassers 1,7-mal pro Tag durch den Seitenstromfilter. Dadurch fällt die hydraulische Halbzeit des gesamten Kühlturmsystems von 40 auf 7 Stunden ab. Gleichzeitig fiel die Abflutrate um 12 % ebenso wie die Behandlungskemikalien und die Frequenz der Chlorung fiel drastisch von 3-mal am Tag auf nur einmal alle 2,4 Tage. Die Korrosivität des zirkulierenden Kühlwassers, aufgeführt als Summierung von Chlor und Sulfat, bleibt die gleiche.

Auf der Grundlage dieses Modells wird das Ergebnis für die meisten bestehenden Kühlturmsysteme in Europa in der Größenordnung von 1 – 2-mal pro Tag liegen, wenn das bekannte Totwasservolumen als warmes Wasser über den Filter läuft. Dies wird zusammen mit einer begrenzten einstündigen Schockdosierung mit einem oxidativen Biozid nur zweimal in der Woche geschehen. In Einheiten ausgedrückt: Es wird erwartet, dass nur 1 m^2 Filteroberfläche pro 15 MW_{th} zusammen mit einer Filterhöhe von 4 m in den meisten Fällen ausreichend ist, um eine Verweilzeit von einigen Minuten zu schaffen. In einer normalen Situation ergibt die Verminderung der Anwendung von Wasser und Chemikalien eine Amortisationszeit von 3 – 4 Jahren für die Kapitalkosten des Seitenstromfilters. Man erwartet, dass andere Filtermedien als Sand, wie Basalt, zu noch kleineren Filtern pro MW_{th} führen.

XI.3.2 Physikalische Methoden

Säuberungsvorrichtungen für wassergekühlte Systeme können bestehen aus On-line-(oder fortlaufender) Säuberung wie der Anwendung von Schaumgummibällen oder Bürsten oder Off-line-Säuberung zum Beispiel durch die Anwendung von Wasserstrahlen unter hohem Druck und indem man sogenannte ‘Molche’ (Rohrreiniger) durch die Kondensatorröhren schießt. Je besser die Säuberung ist, um so weniger besteht Bedarf für die Anwendung von Kühlwasserchemikalien, nicht nur, weil die Verschmutzung der Röhrenoberfläche mechanisch entfernt wird, sondern auch weil die angewendeten Zusätze wirkungsvoller sind, da sie die Oberfläche leichter erreichen können. Es wurde festgestellt, dass die mechanische Säuberung als eine Voraussetzung für die Anwendung eines Kontrollprogramms für Makro-Verschmutzung angesehen werden könnte.

Die Säuberung von Trockenkühlsystemen beschränkt sich auf die Rippenseite der Wärmeübertragungsoberfläche. Diese Säuberung sollte für die Wartung der Wärmeübertragung (auch indirekte Emissionen vermeidend) und zwecks Langlebigkeit der Rippenrohr-Wärmetauscher durchgeführt werden.

Eine Reihe von physikalischen Methoden zur Bekämpfung der Makro-Verschmutzung und die Erfahrungen in der Industrie sind aufgeführt in der Tabelle XI.2. [005, Van Donk und Jenner, 1996]:

- Vermindern des Ansaugens von Fremdkörpern ins System. Die Einlaufstrukturen sollten so ausgelegt werden, dass das Ansaugen von Fischen, Schutt, organischem und anorganischem Material, einschließlich Schwebstoffen, auf ein Minimum beschränkt wird. Zusätzlich kann die Seitenstromfiltrierung in offenen rezirkulierenden Systemen eine Option sein.
- Die Geschwindigkeiten auf ausreichender Höhe halten, um die Anlagerung organischer Organismen zu vermeiden (Geschwindigkeit höher als 2 m/s). Zu hohe Geschwindigkeiten können jedoch ein Risiko von Korrosion²¹ herbeiführen. Die kritischen Wassergeschwindigkeiten hängen sehr stark von der Art des verwandten Materials ab.
- Plötzliche Temperaturerhöhung durch das Erhöhen der Temperatur des Kühlwassers auf mehr als 40 °C über einige Dutzend Minuten. Diese Techniken beseitigen die festgesetzten Organismen (Muscheln), aber erfordern nichtsdestoweniger eine geeignete Auslegung des Kühlsystems (Rezirkulation des Kühlwassers). Sie begrenzen auch die Kühlkapazität des Systems und können nur während einer Unterbrechung des Prozesses durchgeführt werden, falls dies einen Temperaturanstieg nicht standhalten kann.
- Ungiftige Beschichtung und Farben, die das Festsetzen von Organismen verhindern, verstärken den Geschwindigkeitseffekt und erleichtern die Säuberung.
- Die Anwendung der Schalltechnologie. Das der Anwendung von Schall zugrundeliegende Prinzip ist, dass die durch die Energie in Verbindung mit der Schallübertragung erzeugte Schwingung die Ablagerungen auf den Oberflächen entfernt, indem sie die Ablagerung frei ‚schüttelt‘.
- Osmotischer Schock. Die Methode auf physikalischer-chemischer Basis wendet den osmotischen Schock sowohl bei Süß- oder Salzwassersystemen an, indem sie die Makrovermutzung Salz- bzw. Süßwasser aussetzt. Als Ergebnis können die Zellen der Organismen den Wirkungen inneren Drucks ausgesetzt werden, was zum Tod führen kann.

²¹ Anmerkung zur Übersetzung: Statt Korrosion dürfte Errosion gemeint sein.

Tabelle XI.2: Physikalische Techniken zur Minimierung der Biozidanwendung
(abgeleitet von [tm005, Van Donk und Jenner, 1996])

Technik	Ausrüstung	Praktische Erfahrung	Möglichkeiten/Einschränkungen
Filtrierung/ Vorbehandlung des Wassers	Makro-Verschmutzung: Trommelsiebe, Bandsiebe, Einlaufrechen, Muschelsiebe	Ja, Kraftwerk	Sowohl für Durchlauf- als auch für rezirkulierende Kühlwassersysteme
	Mikro-Verschmutzung: Rotierende Trommel- und Sandfilter	Ja, chemische Industrie	Nicht für große Durchlaufsysteme
Seitenstromfiltrierung	Mikro-Verschmutzung: kontinuierlich rückgespülte Mikrofilter (50-100µm)	Ja, Entsatzungsanlage	Für Wasserdurchflüsse bis zu 4 m ³ /s
	Schnelle Sandfilter kontinuierlich rückgespülte Filter	Ja, chemische Industrie Ja, Glasindustrie	Nur rezirkulierende Systeme Alle Biozide Filter kann zur zusätzlichen Bakterienquelle werden
On-line-Säuberung	Schaumgummibälle	Ja, Kraftwerke	Große Durchlaufsysteme Nicht für offene rezirkulierende Systeme
	Bürsten – und Siebtrommelsystem	Begrenzt, chemische Industrie und Kraftwerk	Durchlauf- und rezirkulierende Kühlsysteme
Off-line-Säuberung		Ja, Kraftwerke und Industrie	Erfordert doppeltes Layout oder regelmäßige Betriebsunterbrechungen
Wärmebehandlung	Makro-Verschmutzung: 38-40°C	Ja, Salz- und Süßwassersysteme	Option begrenzt auf neue Systeme, erfordert spezielle Auslegung;
	Mikro-Verschmutzung: 70-80°C	?	Ersatz für Biozide
Beschichtungen und Farben	toxische Beschichtungen	Unterschiedlich	Auf der Basis von Zink und Kupfer, Anwendbarkeit gegen Mikro- und Makro-Verschmutzung könnte begrenzt sein.
	Ungiftige Beschichtung	Kraftwerke in USA.	Für neue Systeme, Verschmutzung lösend; auf der Basis von Silikon und empfindlich
U.V.-Licht		Tests in kleinem Umfang	Zusätzliche Verhinderungstechnik zur chemischen Bewuchskontrolle in rezirkulierenden Kühlwassersystemen.
Schalltechnologie		Nein, nur Testergebnisse	Hohe Energiekosten
	Elektrische Wasser- aufbereitung	Nein, nur Testergebnisse	Testergebnisse in kleinen industriellen Systemen
Osmotischer Schock	Hochfrequenz-Transformator	Ja, Durchlaufsystem, das Salzwasser anwendet	Materialien müssen korrosionsbeständig sein. Süßwassersystem könnte bei der Behandlung mit Salzwasser korrodieren.

XI.3.3 Optimierung der Anwendung von Bioziden

XI.3.3.1 Überwachung

[tm005, Van Donk and Jenner, 1996]

Zur Überwachung der Mikro-Verschmutzung werden die Petrischalenzähltechnik und die ATP-Messung angewendet. Für die Überwachung der Makro-Verschmutzung verwendet man Belichtungsplatten oder Glassfenster. Verkrustung und Korrosion beeinflussen indirekt die Anwendung von Biozid und deshalb kann die Überwachung des Auftretens dieser Effekte auch wichtig sein, um das Auftreten des Bewuchses zu messen. Beispiele von den im Referenzdokument aufgeführten Überwachungstechniken sind der KEMA Biofouling Monitor® und mit Unterwasser-Videokameras ausgerüstete Robotergeräte werden zum Entdecken der Makro-Verschmutzung und der Wirkungen der Biozidbehandlung angewendet. Für korrektere Messungen besonders für die Mikro-Verschmutzung- und Biozidbehandlung werden Techniken angewendet, die Merkmale wie Klappenbewegung und Lichtemissionen von Mikro-Organismen als Ergebnis ihres metabolischen Prozesses einsetzen. Von beiden Techniken wird ein Beispiel aufgeführt, um das Prinzip zu veranschaulichen, aber es sind viel mehr auf dem Markt.

XI.3.3.1.1 Überwachung der Makro-Verschmutzung

[tm157, Jenner e.a., 1998]

Um die Dosierung von Bioziden zur Bekämpfung der Makro-Verschmutzung in Durchlaufsystemen gezielt durchführen zu können, wurde ein sogenanntes Bewuchsüberwachungssystem entwickelt. Der KEMA Biofouling® Monitor besteht aus einem aus PVC hergestellten geschlossenen zylindrischen Behälter mit einem vertikalen Wasserfluss von oben nach unten. Er kann angewendet werden zur Überwachung aller Makro-Verschmutzungs-Organismen in Süßwasser-, Brackwasser- und Salzwassersystemen. Er ermöglicht die direkte Beobachtung, wöchentliche und monatliche Zählungen der Ablagerung der Brut von zweischaligen Weichtieren. Die Brut besteht aus den Larven mit abgeschlossener Metamorphose der letzten Larvenstufe der zweischaligen Weichtiere (den sogenannten „Pediveliger“). Um hinreichende Informationen über die Entwicklung der Makro-Verschmutzung im Kühlsystem zu erhalten, wird empfohlen, einen Bewuchsmonitor am Einlass vor dem Dosierungspunkt anzubringen und einen weiteren an einer kritischen Stelle im Kühlsystem hinter dem Dosierungspunkt.

Wenn der Monitor parallel zu einem Kühlwasserkreislauf als Bypass installiert wird, ist er ein wirkungsvolles Werkzeug zum Entdecken aller möglichen Makro-Verschmutzung im Kühlsystem. Die Wassergeschwindigkeit im Monitor ist viel geringer als im Kühlsystem. Dies bietet eine optimale Umgebung für Ablagerung der Brut von zweischaligen Weichtieren und ermöglicht eine leichte Inspektion im Hinblick auf den Zeitpunkt der Ablagerung, das Wachstum und der Wirksamkeit der Kontrollmaßnahmen. Auf der Basis der Informationen aus dem Monitor kann die Anwendung von Bioziden auf die Zeiträume begrenzt werden, in denen sie wirklich erforderlich ist. Weitere Forschung über das Verhalten der Organismen kann die gezielte Anwendung der Dosierungskonzentration des Biozids voranbringen.

Andere Techniken werden angewendet, zum Beispiel die Anwendung getauchter Platten in der Nähe der Einlasskanäle. Sie geben dem Betreiber der Anlage einen Hinweis auf die Zeiträume, in denen man die Chlorung vermeiden kann.

XI.3.3.1.2 Markierte Biozide zur Bestimmung der Biozid- und mikrobiologischen Aktivität

[tm096, McCoy e.a., 1995]

Das Tracer-Diagnosesystem besteht aus einem Analysator, einem Datensammelsystem, analytischer Software und einem lumenisierenden Reagens. Der Analysator misst die Lichtabgabe der Mikro-Organismen. Innerhalb von Minuten kann der Test die Konzentration an Biozid und die biologische Aktivität im Kühlwasser feststellen. Die Methode beruht auf der Basis einer biologischen Prüfung der Biolumineszenz der Bioprobe eines biozidaktiven Bestandteils. Sie zielt darauf ab, die Anwendung von nicht oxidierenden Bioziden in rezirkulierenden Kühlsystemen durch Messung des Verbrauchs der Systeme zu optimieren.

XI.3.3.2 Bioziddosierung

XI.3.3.2.1 Verschiedene Betriebsbedingungen für die Aufbereitung, um die optimale jährliche Gesamtanwendung von Oxidationsmitteln in Durchlaufsystemen gegen Makro- und Mikroverschmutzung zu erzielen.

Um sowohl Makro- als auch Mikro-Verschmutzung zu vermeiden, können in Durchlauf-Kühlwassersystemen verschiedene Betriebsbedingungen für die Aufbereitung angewendet werden. Dabei kann es sich um Chlorung mit niedriger Konzentration handeln, ausgeführt als kontinuierliche, semi-kontinuierliche oder diskontinuierliche Chlorung, auch Schock-Chlorung genannt, von zweimal einer halben Stunde am Tag, um gezielte Chlorung in nur einem Teil des Wärmetauschers oder in einem Teil des Kühlsystems selbst, um Impulschlorung oder alternierende Impulschlorung. Die Ziele der verschiedenen Systembedingungen sind, eine hohe Energieeffizienz zu erreichen und beizubehalten, indem man über das ganze Jahr hinweg mit sauberen Wärmetauschern arbeitet und gleichzeitig die nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt minimiert.

Die umweltbezogene Bewertung der Chlorung kann in zwei Hauptkategorien aufgeteilt werden: durch Oxidationsmittel und durch nicht oxidierende Stoffe. Beide unterscheiden sich in ihrem ökotoxikologischen Risiko, ausgedrückt als Lebensdauer des Stoffes, Bioakkumulation und Toxizität gegenüber aquatischen Organismen. Die nicht oxidierenden Mittel wie Chlorkohlenwasserstoffe sind stabil und einige Bestandteile werden sich in den Fetten der aquatischen Organismen ansammeln und auch eine chronische mutagene und karzinogene Toxizität aufweisen. Die Oxidationsmittel reagieren ganz schnell mit Reduktionsmitteln und stehen für die Verschmutzungsverhütung nur nach überstöchiometrischer Dosierung zur Verfügung. Nur unter diesen Umständen ist das Resultat der Dosierung selbst bei niedrigen Konzentrationen akut toxisch, aber ohne die Bioakkumulation von freien Oxidationsmitteln.

Die akute Toxizität ist das, was man im Kühlsystem, einschließlich der Wärmetauscher, benötigt, um die Sedimentierung zu vermeiden und die Wärmetauscher sauber zu halten, aber diese Toxizität ist in der Kühlwasserableitung unerwünscht.

Da selbst ein kontinuierliches Chlorungssystem mit niedriger Konzentration ein bedeutend niedriges PEC/PNEC-Verhältnis aufweist, ist es das entscheidende Umweltthema, die Bildung von Halogenkohlenwasserstoffen zu vermindern, die auch chlorierte Nebenprodukte genannt werden, und die auf die unwirksam angewendete Oxidationsmittelmasse zurückzuführen sind. Diese Bestandteile werden jedoch nicht leicht auf einer regelmäßigen oder sogar kontinuierlichen Basis gemessen und verfügen auch nicht über eine akute Toxizität. Deshalb wird die Leistung eines Behandlungssystems unter dem Aspekt der freien Oxidationsmittel überwacht, was auch auf einer fortlaufenden Kontrollbasis anwendbarer ist. Alle oxidativen Behandlungssysteme haben gemeinsam, dass die kontinuierliche Messung freier Oxidationsmittel im Hinblick auf die erforderliche Prozess-Steuerung bevorzugt wird. Gleichzeitig haben natürliche Gewässer eine minimale Entdeckungsgrenze und Schwellen um 0,1 mg/l ($\pm 0,05$ mg/l). Dies hängt von der angewendeten analytischen Technik ab und steht in Relation zu den im natürlichen Kühlwasser vorhandenen Bestandteilen, die keinen direkten Beitrag zu der Wirkung des Behandlungssystems selbst leisten. Da Chlor wie andere Oxidationsmittel nicht selektiv und unspezifisch ist und praktisch mit allen reduzierbaren Bestandteilen reagiert, die in (natürlichen) Gewässern und zusammen mit der analytischen Schwelle vorhanden sind, kann dies eine Erklärung dafür sein, warum die erfolgreichen Behandlungssysteme mindestens 0,2 mg/l an freien Oxidationsmitteln vor den Kondensatoren anwenden.

Die Erzeugung von Halogenkohlenwasserstoff ist eine fast lineare Funktion der dosierten Menge an Oxidationsmitteln unabhängig vom Behandlungssystem.

Vergleicht man das diskontinuierliche und das kontinuierliche Behandlungssystem mit niedriger Konzentration, so kann es so aussehen, als ob ein diskontinuierliches Behandlungssystem (mit einer größeren Menge an Oxidationsmitteln) zu einer höheren messbaren Konzentration von halogenierten Nebenprodukten führt. Falls die Mengenbilanz für diejenigen Zeiträume korrigiert wird, in denen die Dosierung angehalten wurde, dann kann die jährlich emittierte Menge einer diskontinuierlichen Betriebsart noch niedriger sein als die einer kontinuierlichen Betriebsart mit niedriger Konzentration. Tatsächlich ist es nicht das angewendete Behandlungssystem, sondern die Wasserqualität, die Auswirkungen auf die Mindestmenge des benötigten Oxidationsmittels hat. Die höhere anfängliche Konzentration an freien Oxidationsmitteln, die im Fall einer diskontinuierlichen Chlorung benötigt wird, ist erforderlich, um einen Ausgleich für die niedrigere Kontaktzeit zu schaffen und um die gleichen Behandlungsergebnisse zu erzielen. Dies heißt nicht, dass die jährlich benötigte Menge an Oxidationsmitteln höher ist mit einer höheren zugehörigen Menge von halogenierten Nebenprodukten im Ausfluss. Wegen der Vermischung im aufnehmenden Wasser findet eine rapide Auflösung jedes

Behandlungssysteme mit Oxidationsmitteln statt mit einer akuten Toxizität ebenso wie mit der Bildung von halogenierten Nebenprodukten.

Die Wirksamkeit eines Behandlungssystems besteht aus einer Kombination des Niveaus der temporären akuten Toxizität und der Verfügbarkeit und Menge von Nährstoffen im Wasser und des Verlusts an Filterleistung der sich durch Filtrierung ernährenden Organismen, zum Beispiel Austern und Muscheln (oder zweisechalige Weichtiere). Es ist erforderlich, dass der Bereich von Pumpenschacht bis zu den Wärmetauschern ebenso wie die stehenden Zonen zeitweilig akut toxisch werden, um die Ablagerung im Rohrleitungssystem und den Leitungen der Wasserversorgung zu vermeiden und die Wärmetauscher sauber zu halten. Je kürzer die gewählten Zeiträume sind, um so höher muss die zeitweilige akute Toxizität sein, um die gleiche Wirkung zu erzielen. Oder je länger die Kontaktzeit ist, um so niedriger ist die akute Toxizität, die erforderlich ist, um das gleiche Ergebnis zu erzielen.

Es ist allen oxidativen Behandlungssystemen gemeinsam, dass sie Vorteile ziehen aus verminderten Nahrungsaufnahme der sich durch Filtrierung ernährenden Organismen wie Muscheln und Austern unter Stress. Es ist auch allen oxidativen Behandlungssystemen gemeinsam, dass die Ablagerung und das Wachstum der Brut der Schalentiere gemäßigt wird, wenn man die Öffnung ihrer Schalen über längere Zeiträume hinweg verhindert. Falls sie gezwungen werden, ihre Schalen zu schließen – was ihre natürliche Abwehrreaktion ist – so schalten die Organismen auf anaeroben Metabolismus um und leben von ihren Nahrungsreserven. In Abhängigkeit von ihrem Zustand und der örtlichen Wassertemperatur können sie derartige Stressperioden über viele Monate überleben. Die Brut sowohl als auch die Jungtiere vermeiden jedoch diese Umstände durch ein zweites Abwehrverhalten, indem sie sich mit ihren Byssusfäden nicht festhalten oder sie lösen. Dies erklärt das potentielle Versagen diskontinuierlicher Systeme in spezifischen Gebieten.

Günstige Bedingungen für die Ablagerung und das Wachstum der Muschelbrut bestehen in eutrophierten Gewässern in spezifischen Küstengebieten und einigen Häfen, und sie werden innerhalb gewisser Grenzen weiter beschleunigt durch erhöhte Wassertemperaturen. Aus diesem Grund ist es allen Behandlungssystemen gemeinsam, dass die Chlorung nicht erforderlich ist, wenn bei niedrigen Wassertemperaturen (12 °C) die Nährstoffe rar sind. In spezifischen Gebieten liegt die Schwelle jedoch bei 10 °C wegen der hohen Verfügbarkeit von Nährstoffen selbst bei relativ niedrigen Temperaturen.

All diese Umstände bestimmen die erforderliche Konzentration freier Oxidationsmittel, gemessen vor oder direkt hinter den Wärmetauschern, mit den entsprechenden Zeitabständen zwischen den diskontinuierlichen Dosierungen.

Kontinuierliche und diskontinuierliche Behandlungssysteme weisen unterschiedliche Niveaus der Chlorung auf. In den meisten Fällen muss eine FO-Konzentration vor den Wärmetauschern von 0,3 mg/l aufrechterhalten werden, falls die Vermeidung der Ablagerung mit einer kontinuierlichen Chlorung mit niedriger Konzentration in der Nähe des Pumpenschachts durchgeführt wird. Dies führt zu einer Konzentration von 0,2 mg/l am Abfluss, die generell innerhalb einer Zeitspanne von 15 Minuten in Kühlwasserkreisläufen erwartet werden kann. Bei nährstoffreichen Gewässern ist jedoch der Bewuchs so stark, dass höhere Konzentrationen sowohl am Zufluss als auch am Abfluss erforderlich werden und sie können sporadisch Konzentrationen von 0,7 mg/l am Abfluss erreichen, um dessen Leistungsfähigkeit zu erhalten.

Im Fall eines idealen Pfropfenströmungs-Kühlwassersystems benötigt die diskontinuierliche Chlorung mit niedriger Konzentration eine höhere FO-Konzentration von bis zu 0,5 mg/l vor den Wärmetauschern, um das gleiche Ergebnis zu erzielen und dies führt automatisch zu höheren zeitweiligen FO-Konzentrationen am Abfluss. Da Halogenkohlenwasserstoffe unlöslich sind, wird ihre Produktion während dieser zeitweilig erhöhten Dosierungen von Oxidationsmitteln auch höher sein. Schockdosierungen mit niedriger Frequenz werden selten durchgeführt, was auf ihrer niedrigen Behandlungswirksamkeit gegenüber den zweisechaligen Weichtieren beruht. Diese Organismen werden die ihnen gebotenen langen Zeiträume zur Atmung voll und ganz ausnutzen, um sich zu erholen.

Im Allgemeinen sind in zeitlichen Abständen bei nährstoffreichen Gewässern angewendeten diskontinuierlichen Systeme nur dann wirksam, wenn sie als häufig wiederholte Chlordosierungen angewendet werden, um die Erholungsfähigkeit der zweisechaligen Weichtiere zu minimieren. Wenn diese Zeiträume ohne Dosierung auf eine Viertelstunde vermindert werden, nennt man es Impulschlorung. Die Organismen verstehen dies als ein kontinuierliches Chlorungssystem, da die Häufigkeit den Muscheln und Austern eine zu kurze Zeitspanne einräumt, um sich zu erholen, nachdem sie kurzen, aufeinander folgenden Zeiträumen der Oxidation ausgesetzt

waren. Die zeitlichen Abstände zwischen den Zeiten der Dosierung mit Oxidationsmitteln haben einen viel größeren Einfluss auf das Verhalten dieser Organismen als die Konzentration des freien Oxidationsmittels, so lange diese Konzentration hoch genug ist, um einen anfänglichen Stress auf die zweischaligen Weichtiere auszuüben.

Falls es sich bei dem ganzen Kühlsystem nicht um ein ideales Pfropfenströmungs-Kühlwassersystem handelt, dann können Dosierungssysteme mit noch höherer Frequenz erfolgreich angewendet werden. Man nennt sie alternierende Impulschlorung (XI.3.3.2.2). Sie zieht vollen Nutzen aus der Verfügbarkeit der vorhandenen Reduktionsmittel in einem Teil des Kühlwassers, das kurz vor dem Abflusssystem mit dem vorher gechlorten Kühlwasser vermischt wird. Es ist entscheidend, dass ein Teil des oxidierten Kühlwassers eine Verweildauer in System hat und zu anderen Zeiten entweder als schnelleres oder langsames nicht gechlortes Kühlwasser ankommt, das noch Reduktionsmittel enthält. Durch Kürzung der Dosierungszeiträume auf den Umfang von drei Viertel der Verweilzeit des mechanischen Wassersystems wird dann in der Abflusszone ein unterstöchiometrischer Oxidationsmittel-/ Reduktionsmittel-Gemisch gebildet. Gleichzeitig wird ein überstöchiometrischer Oxidationsmittel-/ Reduktionsmittel-Zustand gebildet zwischen dem Dosierungspunkt und dem Bereich, wo sich die verschiedenen Kühlwasserströme treffen.

Zusammenfassend, das (alternierende) Impulsaufbereitungssystem vermindert die jährliche Anwendung von Zusätzen und ist besonders wirksam gegen die Makro-Verschmutzung. Es kann jedoch Höchstkonzentrationen an freien Oxidationsmitteln am Abfluss des Kühlsystems hervorbringen, die den erlaubten Einleitungskonzentrationen nicht entsprechen.

XI.3.3.2.2 Alternierende Impulschlorung in Durchlaufsystemen

[tm153, Paping et al, 1999], [tm168, De Potter et al, 1996], [tm169, De Potter et al, 1997], [tm170, De Potter and Polman, 1999], [tm171, Polman, 2000]

Beschreibung:

Für ein bestehendes Durchlaufsystem, das Salzwasser mit Durchflüssen von bis zu 11 m³/s anwendet, wurde eine Anzahl von Maßnahmen als Teil eines integrierten Systems („Gesamtpflegesystem“) entwickelt und angewendet. Das System besteht aus 200 Wärmetauschern (meist Kupfer/Nickel 90/10 und beschichtetem unlegierten Stahl) und ist durch 4 km Hauptleitungen angeschlossen. Der Ausfall des Systems als Folge beschädigter Röhren war überwiegend auf Ausfälle wegen Erosionskorrosion zurückzuführen (65 %). Die Maßnahmen verminderten die Anzahl der Zwischenfälle durch Leckage und gleichzeitig konnte die Menge des angewendeten Biozids vermindert werden. In der zugrunde liegenden Situation wurde Hypochlorit zur Behandlung gegen Biofouling dosiert. Als Ergebnis langfristiger Erfahrung wurde es als das geeignetste Biozid für dieses System und die vorhandene Qualität des Kühlwassers angesehen. Somit wurde kein alternatives Biozid als Lösung berücksichtigt.

Die Optimierung wurde erreicht durch die Anwendung verschiedener Biozidkonzentrationen in der Behandlung. Die Umweltbelastung verschiedener Behandlungsverfahren wurde bewertet durch Messung und Vergleich der Menge an Nebenprodukten der Chlorung (überwiegend Bromoform) und der gebildeten potentiellen Toxizität. Die Wirksamkeit wurde bewertet durch die Beobachtung:

- des Auftretens von Leckage an Wärmetauscherröhren, die von Muscheln verursacht wurde,
- der Menge an biologischen Wachstum (Anlagerung von Makro-Verschmutzung),
- des Verhaltens der Klappenbewegungen von Austern.

Dementsprechend wurden die Behandlungssysteme verbessert. Es ist wichtig, zu verstehen, dass in diesem Fall das Wissen um das örtliche Biotop genutzt wurde. Dies ist wesentlich, um die erforderliche Genauigkeit der Aufbereitung und die entsprechenden Ergebnisse zu erzielen.

Verminderung:

Die Ergebnisse der Optimierung zeigten, dass eine anfängliche Steigerung von Hypochlorit (Dosierung A) das Auftreten von Leckagen zunächst nicht verminderte, jedoch in der Lage war, die Makro-Verschmutzung fast vollständig aus dem System zu entfernen, wie dies von den Monitorsystemen für Muscheln beobachtet wurde. Sobald das Kühlsystem sauber war, wurden in den folgenden Jahren verminderte Konzentrationen von Hypochlorit (Dosierung B und C) angewendet, die die Makro-Verschmutzung vollständig entfernten und außerdem die Anzahl der Leckagen auf Null absenkten. Die angewendete Methodologie ist in der Lage, die erforderliche FO-Konzentration an der richtigen Stelle aufrechtzuerhalten. Sie beruht auf dem Wissen um den

Lebenszyklus der makro-verschmutzenden Spezies, die Bereiche der Makro-Verschmutzung im System und den sich ändernden Verweilzeiten und Wassergeschwindigkeiten in verschiedenen Teilen des Kühlsystems.

Durch das Aufrechterhalten von niedrigen Konzentrationen an Oxidationsmitteln über längere Zeiträume hinweg kann die Ablagerung und das Wachstum der zweischaligen Weichtiere in Verteilungssystemen verhindert werden. Die kurzfristige alternierende Dosierung nahe den Wärmetauschern führt zu zeitweilig hohen Konzentrationen und ist in der Lage, die Mikro-Verschmutzung zu kontrollieren. Die überstöchiometrische Dosierung wird im Zufluss in Bereichen angewendet, wo die Wassergeschwindigkeit rapide abnimmt und stehende Zonen bildet. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle XI.3: Wirkung der Anwendung eines optimierten Dosierungssystems auf die Anzahl der durch Muscheln verursachten Leckagen [tm153, Paping et al, 1999]

Zeitraum	System	Anzahl der von Muscheln verursachten Leckagen		Hypochlorit (metrische Tonnen/Jahr)
		Einheit 1	Einheit 2	
Jahr 1	A	28	4	1222
Jahr 2	A	28	12	2095
Jahr 3	A+B	32	10	2817
Jahr 4	B	16	1	2480
Jahr 5	C	0	2	1994
Jahr 6	C	0	0	2013
Jahr 7	C + Freq.	1	0	1805
Jahr 8	C + Freq.	0	0	1330

C + Freq. = System C mit höherer Frequenz (d.h. 5 Minuten Dosierung pro Interval von 20 Minuten))

Ein noch gezielteres Dosierungssystem ist die alternierende Impulschlorung, die die Schwankung in den Verweilzeiten in verschiedenen Teilen des Prozesses berücksichtigt (Abbildung X.1.). Zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Stellen werden die erforderlichen Konzentrationen an Chlor dosiert und folgen den Mustern des Kühlwasserstroms in den verschiedenen Teilen des Prozesses. Am Ende des Prozesses und vor der Ableitung des Kühlwasserstroms kommt es durch die Vermischung der verschiedenen Prozess-Ströme zu Verdünnung. Wo nur einer der Ströme gechlort wird und der andere nicht, wird FO weiter vermindert und Emissionskonzentrationen von <0,1 mg/l sind erreichbar.

Medienübergreifende Auswirkung:

Eine erheblich geringere Häufigkeit von Ausfällen der Wärmetauscher verminderte die erforderliche Wartung und folglich die Zeiträume mit Produktionsausfällen. Sauberere Wärmetauscher steigerten die Kühlung und verminderten die Emissionen aus dem Produktionsprozess.

Begrenzungen der Anwendung:

Das Behandlungssystem kann nicht angewendet werden bei Durchlaufsystemen ohne unterschiedliche Verweilzeiten des Kühlwassers.

Zur Optimierung der Dosierungsintervalle benötigt das System die sorgfältige Überwachung der Konzentration der freien Oxidationsmittel im Kühlsystem und der erforderlichen Stresszeiten der zweischaligen Weichtiere.

Kosten:

Während der ersten 5 Jahre beliefen sich die Forschungskosten auf 1 Million €. Die erste Dosierungsinstallation kostete 0,2 Millionen € und weitere Änderungen wiederum 0,2 Millionen €. Die Amortisationszeit der Dosierungsinstallation lag im Rahmen eines Jahres und beruhte auf folgenden Kosten:

- verminderte Kosten für jährliche Wartung und Bedarf an Natriumhypochlorit,
- gestiegene Kosten für jährliche vorbeugende und vorausschauende Wartung und
- Kosten für Analysen.

Die Kosten enthielten nicht die Kosten für Forschung, da diese Kosten ausgegeben wurden, um das grundlegende Wissen über die alternierende Impulschlorung in Durchlaufsystemen zu erlangen.

Referenceanlage:

Dow Europe, Terneuzen (NL)

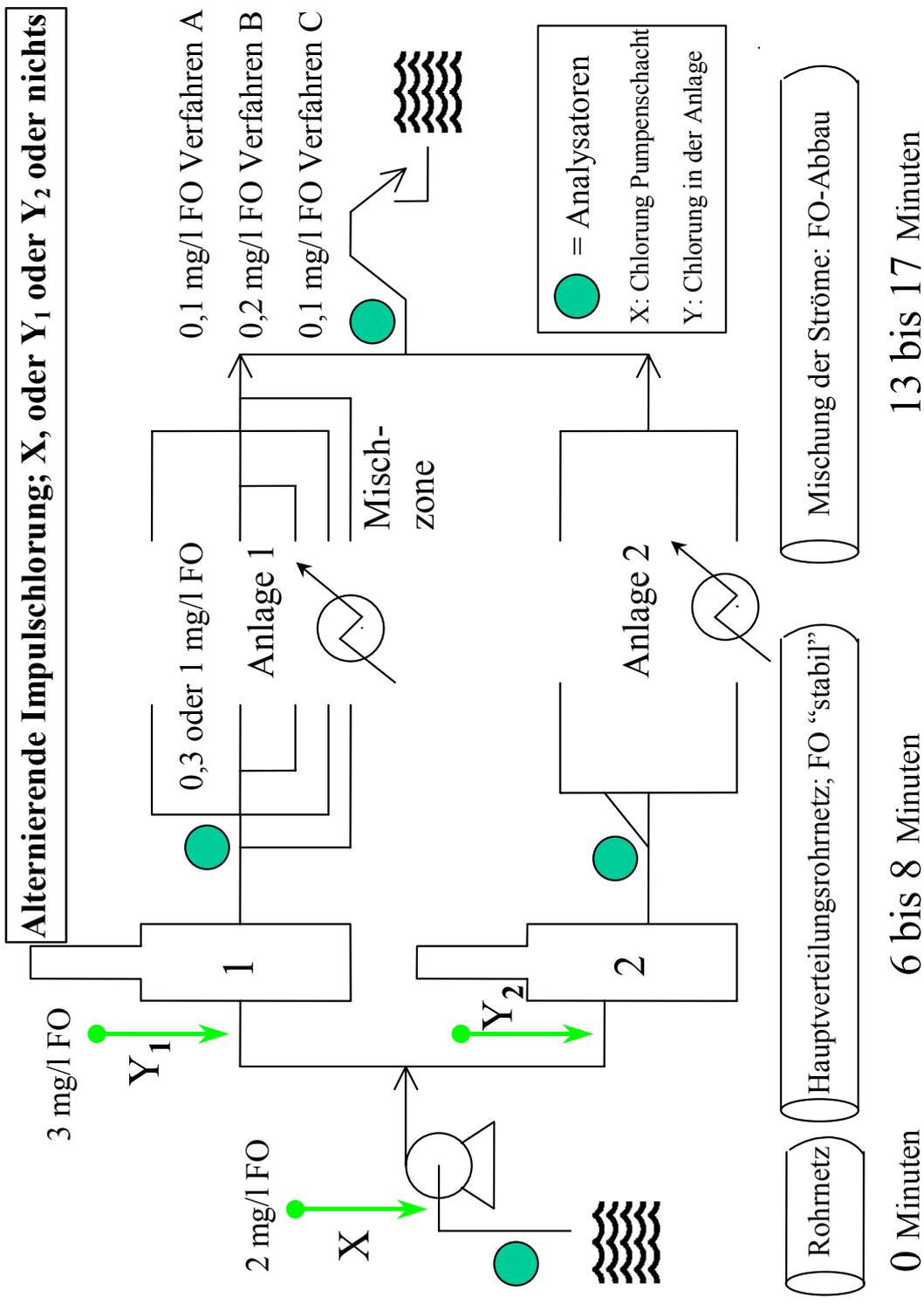


Abbildung XI.1: Optimierte Hypochlorit-Dosierung (alternierende Impulschlorung) unter Berücksichtigung der Verschmutzung und der Charakteristika des Kühlsystems
 Abgeleitet von [153, Paping et al, 1999]

XI.3.4 Alternative Kühlwasserbehandlungsverfahren

In diesem Dokument bestehen die alternativen Behandlungstechniken für Kühlwasser sowohl aus nicht-chemischen Methoden als auch alternativen Chemikalien oder Kombinationen von Chemikalien. Es wurde bereits erläutert, wie die ordnungsgemäße Überwachung zu einem wirkungsvolleren Dosierungssystem führen kann, die Menge der erforderlichen Zusätze vermindert und gleichzeitig ein geringes Auftreten von Systemausfällen aufrechterhält.

XI.3.4.1 Ozon

[tm032, Zimmermann and Hamers, 1996], [039, Strittmatter et.al., 1996], [tm084Rice and Wilkes, 1992], [tm096, Mc Coy et al. 1990], [131, Dziobek, 1998] und [tm156, Schmittecker, 1999]

Beschreibung:

Bei der Aufbereitung von Trinkwasser mit Ozon wurden umfangreiche Erfahrungen gesammelt. In Deutschland und den Vereinigten Staaten wurde unterschiedliche Erfahrungen gemacht mit Ozon, das man in rezirkulierenden Kühlsystemen angewendet hat. Ozon ist ein starkes Oxidationsmittel, mehr noch als Chlordioxid, das wiederum ein stärkeres Oxidationsmittel als Natriumhypochlorit ist. Da Ozon sehr reaktiv ist, reagiert es praktisch mit allen organischen Materialien, die sich im Kühlwasser befinden, und die Wirkungsdauer ist gering, wenn sie nicht ganz fehlt. Auch hat Ozon ein beträchtliches Potential für die Zerstörung anderer Kühlwasserzusätze, z.B. einiger Korrosionsinhibitoren.

Die Reaktivität des Ozons ist abhängig vom pH des Wassers. Wenn Ozon dem Kühlwasser mit einem pH-Wert von mehr als 8 hinzugefügt wird – der oft in einem rezirkulierenden Kühlsystem vorgefunden werden kann -, dann zersetzt es sich unter Bildung freier Hydroxyl-Radikale, die stärker oxidierende Agenzien sind als molekulares Chlor, jedoch mit einer Halbwertszeit von Mikrosekunden. Falls in natürlichen Oberflächengewässern Bromidionen vorhanden sind, werden sie mit dem Ozon reagieren und hypobromige Säure bilden, die tatsächlich eher als das Ozon selbst als Restozon gemessen wird. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Härte des Wassers und es wurde empfohlen, diese zwischen 100 und 400 ppm CaCO₃ zu halten und die Chloride unter 200 ppm Cl⁻.

Verminderung:

Die Verminderung von Mikro-Verschmutzung, gemessen in mikrobiologischer Aktivität, ist veränderlich und kann mit einer Chlor/Brom-Behandlung verglichen werden. Eine Verminderung von bis zu 90 % der anfänglichen Aktivität wurde gemessen, die zu Konzentrationen von 20 – 50 Kolonien per ml führte [tm156, Schmittecker, 1999]. Nicht nur die Menge, sondern auch der Charakter der Mikrobiologie zeigten als Ergebnis der Ozonaufbereitung eine Änderung. Im Vergleich zu keiner Behandlung konnte eine verminderte Anzahl von koloniebildenden Spezien festgestellt werden.

Die Konzentration des in einem System vorhandenen Ozon zeigte keinen direkten Einfluss auf den Umfang der Korrosion oder der Verkrustung, obwohl man auch zu dem Schluss kam, dass weicher unlegierter Stahl und Neumessing leicht korrodieren, wenn die Ozonkonzentrationen zu hoch sind (1,0 ppm). Mit der geeigneten Ozonkonzentration werden diese Materialien anfänglich korrodieren und eine Korrosionsschicht bilden. Diese Schicht schützt gegen erhöhte Korrosion, besonders gegen Lochfraß. In dem Beispiel wurde die Korrosion von Stahl (C 1010) um 50 % auf 0,05 mm/Jahr vermindert und bei Messing (CuZn28Sn1) auf weniger als 0,004 mm/Jahr.

Aufgrund der Ozonbehandlung wurde bei verschiedenen Gelegenheiten über eine Verminderung von rund 50 % der AOX- und COD-Konzentrationen im Abfluss berichtet. Die sich daraus ergebenden Konzentrationen betragen weniger als 0,01 mg/l (AOX), bzw. 10 mg/l (COD). Die COD-Konzentration wurde in Gegenwart eines dosierten Härtestabilisators erreicht.

Medienübergreifende Auswirkung:

Obwohl die Bildungsenergie von Ozon hoch ist, wird die Anwendung von Ozon oft als umweltverträglicher bezeichnet als die von Hypochlorit, da sie zu einer geringeren Bildung von Trihalomethanen (THM) und extrahierbaren organischen Halogenen (EOX) führt. Die Ozonisation kann zur Bildung von Nebenprodukten führen, z.B. Bromate und Bromhydrine, aber im Vergleich zur der Bildung von Nebenprodukten bei der Chlorung wurde der Bildung von Nebenprodukten aufgrund der Ozonisation relativ wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

Soweit berichtet wurde, wurden Ozonemissionen aus keinem Teil der Kühlsysteme beobachtet.

Anwendbarkeit:

Ozon wird vorwiegend angewendet in der chemischen und petrochemischen Industrie und in Raffinerien; im begrenzten Umfang auch in der Elektrizitätsindustrie, aber aufgrund neuerer Erfahrungen kann eine breitere Anwendung auch für kleinere Industrien erwartet werden. Die Vorteile sind:

- Leistungsfähigkeit,
- niedrige Konzentration von Nebenprodukten,
- geringe Stabilität des Ozons mit wenig oder keinem Ozon in der Ableitung als Ergebnis,
- Verminderung von COD und AOX.

In den USA kam man zu dem Schluss, dass Ozon keine „Gesamtlösung“ für die Aufbereitung von Kühlwasser ist, das alle Zwecke abdeckt, aber dass es eine Alternative für eine begrenzte Anzahl von Anwendern darstellt. Außerdem ist es nur nützlich als eine eigenständige Behandlung in Kühlwassersystemen, die keine zusätzliche Kontrolle der Korrosion oder Verkrustung benötigen. Seine Reaktivität begrenzt die Anwendung anderer Biozide, die sofort zerstört würden, und falls es außerhalb des Radius der Ozonaktivität zu Bewuchs kommt, könnte man damit nicht fertig werden.

Ozon sollte vorzugsweise in sehr sauberen rezirkulierenden Kühlsystemen angewendet werden und man merkt an, dass seine hohe Reaktivität das Ozon ungeeignet macht für die Anwendung in einem Durchlaufsystem oder Systemen mit langen Leitungen. Die Geschwindigkeit, mit der Ozon aus einem System entweichen kann, wird durch ein Beispiel erläutert. Davon wird berichtet, dass nach der ersten Anwendung von Ozon in einem kontaminierten System die Ozonkonzentration innerhalb von 50 Metern nach dem Punkt der Dosierung unter die Nachweisgrenze absank. Für die Aufbereitung eines Kühlturms von Kraftwerken wird gegenwärtig eine Mindestkonzentration von 50 µg/l im Kühlbecken vorgeschlagen. Es wurde jedoch auch über positive Resultate mit geringeren Konzentrationen berichtet. Es wird als die beste Praxis angesehen, Ozon kontinuierlich mit einer niedrigen Konzentration anzuwenden.

Kosten:

Die Produktion von Ozon erfordert in beträchtlichem Umfang Energie und ist wegen der Tatsache, dass der Wirkungsgrad der Ozongeneratoren sehr niedrig ist (100 g bis 150 g O₃/1000 g O₂, 10 kWh/ kg O₃), relativ teuer. Die Beobachtungen im Hinblick auf die Kosten können sich jedoch unterscheiden, da sie von den verfügbaren alternativen Behandlungsverfahren abhängen. Es wurden zum Beispiel Beobachtungen angestellt, dass die Behandlung mit Ozon verglichen werden kann mit der Behandlung mit Chlorgas, und dass andere Behandlungen auf der Basis von Chlor oder Brom zusätzliche Kosten enthalten könnten. Beim Interpretieren von Kostenangaben muss man jedoch Vorsicht walten lassen, da die Investitionskosten für die Ausrüstung enthalten oder nicht enthalten sein können, und nur die Betriebskosten angeben sein können.

Referenzanlagen:

Hoechst (Deutschland), Kraftwerk Seraing (Belgien), Kraftwerk EZH-Rotterdam Capelle (Holland) [siehe Referenzen]

Überlegungen:

In der aquatischen Umgebung des Kühlsystems ist eine Mindestkonzentration erforderlich, um die benötigte biozidale Wirkung des Ozons zu erzielen. Jüngste Arbeiten zeigen, dass zur Überwindung der bereits vorhandenen Kontamination die anfängliche Dosis möglicherweise zwischen 0,1 und 0,3 mg/l betragen muss und, abhängig von der Umgebung des Systems, kann es Monate dauern, ehe verbliebenes Ozon im Ablauf gemessen werden kann [tm131, Dziobek, 1998]. Es wird behauptet, dass in 60 % der Anwendungen die Ozonaufbereitung innerhalb von 9 bis 12 Monaten auf 50 % vermindert werden kann und die Oberflächen sauber sind. Diese Art von Behandlung führte im Kühlturmbecken zu einer Konzentration von verbliebenem Ozon von 0,05 mg/l. Es wurde weiter berichtet, dass die saubereren Kühleleinbauten des Kühlturms zu einer gesteigerten Anzahl von Zyklen und zu einer entsprechenden Abnahme der Wasserverluste um 70 % führten.

Der Ort der Dosierung ist sehr wichtig, um die erforderliche Ozonkonzentration im richtigen Bereich des Kühlsystems aufrechtzuerhalten. Um den Abbau des Ozons zu vermeiden werden empfindliche Inhibitoren, andere Chemikalien für die Behandlung des Kühlwassers und die Seitenstromfiltrierung des Zusatzwassers empfohlen. Ozon könnte auch im Kühlturm selbst angewendet werden [tm131, Dziobek, 1998].

Ozon kann vor Ort erzeugt werden, indem man trockene Luft oder Sauerstoff einer elektrischen Entladung aussetzt. Danach muss das Produkt im Kühlwasser absorbiert werden. Nach dem American Congress of Industrial Hygienists ist 0,1 mg/l die empfohlene maximale Konzentration für den kontinuierlichen Einsatz [tm059, Swinnen, 1995]. Ozon ist im Vergleich zu anderen oxidierenden Bioziden sehr flüchtig. [tm096, Mc Coy et al. 1990] untersuchte die Flüchtigkeit von verschiedenen Bioziden in Kühltürmen. Aus dieser Studie ergab sich die folgende Reihenfolge der Flüchtigkeit: Ozon > Chlordioxid > Chloramin > hypochlorige Säure > Hypobromsäure, wobei Ozon rund 167.000-mal flüchtiger ist als Hypobromsäure bei 20 °C.

XI.3.4.2 UV-Behandlung

Beschreibung:

Die UV-Behandlung, die in rezirkulierenden Kühlsystemen angewendet werden soll, benötigt zunächst einmal klares Wasser, um eine gute Reichweite der UV-Strahlung zu ermöglichen und die Vorfiltrierung des Wassers kann erforderlich werden.

Verminderung:

Besonders in der Sommerzeit bewirkte die Behandlung die Verminderung der Bildung von Amöben in der Abflutung vor der Ableitung in den Fluss.

Medienübergreifende Auswirkung:

Energiekosten wurden nicht berichtet.

Begrenzungen der Anwendung:

Es wird erwähnt, dass an sonnigen Standorten Algenwachstum beobachtet wurde, falls keine Anti-Algenmittel wegen des Fehlens der im Wasser verbleibenden Wirkung angewendet wurden. Um dies zu überwinden, muss ein Anti-Algenmittel hinzugefügt werden oder das Turmbecken muss sauber und frei von Schlamm sein, um zu verhindern, dass die Mikro-Organismen im Schlamm wachsen. UV-Leuchten benötigen auch häufige Säuberung.

Kosten:

Für eine Anwendung im großtechnischen Maßstab nicht berichtet.

Referenzanlage:

Wasserkraftwerk, Ontario, Kanada, EDF Kernkraftwerk, Poitiers, Frankreich (beide experimentell, 1999)

Überlegungen:

Bei der Tendenz, die Wiederverwendung von Wasser zu erhöhen, ist es unsicher, ob die erforderliche Klarheit des Wassers in der Zukunft noch ohne beträchtliche und teure Behandlung erzielt werden kann.

XI.3.4.3 Katalytische Behandlung mit Wasserstoffperoxid

[comment, D]

Beschreibung:

Die Behandlung mit Wasserstoffperoxid ist eine Technik, um Kühlwasser vom Vorhandensein von Mikro-Organismen zu dekontaminieren. Die Technologie zielt darauf ab, niedrige Grenzwerte für die Bakterienbestände im Wasser einzuhalten. Das System wird aktiv, um die Bildung von Biofilmen und Algen zu verhindern und dies verhindert wiederum die Ausbreitung von Bakterien, einschließlich Legionella-Kolonien, durch die Systeme. Wasserstoffperoxid wird als oxidierendes Mittel angewendet, welches im Fall eines Metallkatalysators eine beträchtliche Menge an •OH-Radikale bildet. Dies Radikale haben eine sehr stark oxidierende Wirkung; es wird berichtet, sie sei größer als die von z.B. Ozon oder Chlor.

Es wird berichtet, die Technologie habe ein breites Anwendungsspektrum, d.h. die Radikale sind gegen eine große Gruppe von Mikro-Organismen, einschließlich Legionella, wirksam. Es wurde nicht über genetische Resistenz berichtet und deshalb ist eine Schockdosierung nicht erforderlich. Eine relativ geringe Konzentration von H₂O₂ wird im Wasser aufrechterhalten und hält das Wasser praktisch bakterienfrei.

Verminderung:

Die katalytische Aufbereitung mit Wasserstoffperoxid vermindert die Konzentrationen von AOX und COD. Es wird berichtet, sie produziere keine gefährlichen Restchemikalien im Ableitungsfluss. Sie erweitert die Betriebszeit, da sie die Häufigkeit der Wartung vermindert, wobei die gesamte Anlage frei von Biofilmen, Algen und Bakterien bleibt.

Medienübergreifende Auswirkung:

Die katalytische Aufbereitung erfordert keine zusätzliche Energieanwendung. Die typische Konzentration von Wasserstoffperoxid (0,5 bis 2 ppm) hat keinen Einfluss auf den Umfang der Korrosion oder Verkrustung gezeigt. Wasserstoffperoxid ist auch als Korrosionsinhibitor aktiv.

Begrenzungen der Anwendung:

Für jede Anwendung muss die beste Option für die Anbringung des Katalysators (in Form eines leichten gewirkten Drahtgeflechts, normalerweise auf einem Gestell aus rostfreiem Stahl oder PE) individuell ausgewählt werden. Der Katalysator kann am Boden des Wasserbeckens oder in der Wasserverteilung angebracht werden, falls ein offenes System angewendet wird. Eine Konzentration von 30 % einer Wasserstoffperoxid-Lösung wurde als sehr wirkungsvoll im Hinblick auf Lagerung und Anwendung festgestellt. Sie wurde in **Kühltürmen** vom Zellentyp angewendet. Über Begrenzungen hinsichtlich der Größe des Kühlturms wurde nichts berichtet. Die Daten weisen auf Anwendungen in Türmen mit niedriger oder mittlerer Kapazität hin, aber die Anwendung für Anlagen mit hoher Kapazität ist in der Entwicklung begriffen.

Kosten:

Diese Aufbereitung erfordert die Investition für einen Metallkatalysator. Es wird berichtet, bei der üblichen Abschreibungszeit von 4 bis 5 Jahren für den Katalysator seien die Betriebskosten, einschließlich der Abschreibung für den Katalysator und das Dosierungssystem, wesentlich geringer als für die Anwendung eines Biozids (einschließlich Hypochlorit) als auch für die Behandlung mit Ozon, wenn man diese auf die gleiche Kühlturmkapazität anwendet.

Referenzanlage:

Ausimont Deutschland GmbH, Bitterfeld (D).

Überlegungen:

Nach der Erfahrung kann man zwischen zwei Alternativen als Dosierungsstelle für Wasserstoffperoxid wählen: H_2O_2 kann angewendet werden in der üblichen Einlaufkammer der Pumpe des Kühlturms oder direkt in die Steigrohre jeder Zelle.

XI.3.4.4 Chlordioxid**Beschreibung:**

Chlordioxid (ClO_2) wurde als eine Alternative zu Hypochlorit ($HOCl$) unter Salzwasserbedingungen und als ein Süßwasserbiozid in Betracht gezogen wegen seiner Leistungsfähigkeit als Desinfektionsmittel und seiner starken Minderung bei der Bildung von Organohalogen-Nebenprodukten im Ablauf. Darüber wurde als eine wirkungsvolle und wirtschaftliche Anwendung in Kühlwassersystemen zur Kontrolle von Mikro-Organismen mit relativ niedrigen Dosierungen berichtet. Es kann über einen weiten Bereich von pH-Werten angewendet werden und ist über das gesamte Spektrum der Mikro-Organismen wirksam. Berichte bezeichneten es als besonders wirkungsvoll in Systemen mit den folgenden Kontaminanten: Ammoniak und Ammoniaksalze, Alkane, Alkene und Alkine, Alkohol, primäre Amine, Glykole, Äther, ungesättigte Aromastoffe, die meisten anorganischen Säuren, organische Säuren, Dirole, gesättigte Aliphate.

Die Bedingungen, unter denen die Anwendung von Chlordioxid als attraktiv angesehen wird, sind:

1. Prozesskontaminierung
2. alkalische pH-Systeme
3. Begrenzungen der Chlorableitung bei der Einleitung
4. Eliminierung von gasförmigen Chlor vom Standort

Der letzte Vorteil mag fraglich sein; da berichtet wurde, Chlordioxid sei schwierig zu transportieren und müsse deshalb vor Ort hergestellt werden [tm059, Swinnen, 1995]

Chlordioxid reagiert nicht mit Wasser und ist darin hochlöslich. Man hat herausgefunden, dass wenn man Luft durch die wässrigen Lösungen von Chlordioxid bläst, dies dazu führen kann, dass Chlordioxid aus der Lösung abgegeben wird. Deshalb sollten mit Chlordioxid aufbereitete Lösungen nicht in Bereiche mit starker Belüftung geleitet werden, wie zum Beispiel Tropfentanks, ehe sie zu einem Kühlturm übergehen. Wässrige Lösungen von Chlordioxid unterliegen der photochemischen Zersetzung, nachdem sie lange ultraviolettem Licht ausgesetzt waren. Wie bei der Chlorung könnte die Behandlung mit Chlordioxid während der Stunden der Dunkelheit vorgenommen werden, um die größte Wirksamkeit zu erzielen.

Bei der Behandlung wurde auch festgestellt, dass bei anfänglich hohen Einspeisungen von ClO_2 kurz nach der Betriebsaufnahme die auf Petrischalen gezählten Keimzahlen normalerweise abnehmen sollten. Nach diesem anfänglichen Zeitraum beginnt ClO_2 die Ansammlungen von Biomasse im Schlick und Ablagerungen abzubauen. Während die Schlickmassen angegriffen werden, werden Mikro-Organismen in das rezirkulierende Wasser freigesetzt. Folglich werden sich die gesamten Keimzahlen auf den Petrischalen, die Anzeigen von Kalzium und Trübung über einen gewissen Zeitraum erhöhen und dann auf normale Niveaus zurückgehen. Und außerdem kann es während dieses Zeitraums auch zur Schaumbildung kommen.

Verminderung:

Experimente in Italien wurden bestätigt durch Beobachtungen in Spanien bei einem großen Kraftwerk an der Küste mit einem **Durchlaufsystem** [068, Ambrogi, 1997]. Es schien möglich zu sein, die Dosierung von ClO_2 nach einer ursprünglichen Konzentration von 0,22 mg/l. (8 kg/h) während der Wachstumssaison auf rund 0,18 mg/l. (6,5 kg/h) zu senken und dies im Winter sogar noch weiter zu vermindern. Diese Konzentrationen decken sich gut mit anderen berichteten Dosierungskonzentrationen. Die Dosierung erfolgte kontinuierlich und war wirksam in der Einschränkung des Wachstums der Muscheln. Die sich ergebenden Konzentrationen durch Trihalomethan-Bildungen (THM) waren beträchtlich niedriger als in den Fällen, in denen man HOCl anwendete und dies unabhängig von der Reaktionstemperatur oder -zeit. Sie schwankten zwischen 0,31 $\mu\text{g/l}$ mit einer Dosierung von 0,50 mg/l ClO_2 bei 10 Minuten und 15°C bis 460,48 $\mu\text{g/l}$ mit einer Dosierung von 0,40 mg/l bei 60 min. und 60°C.

Berücksichtigt man die maximale anfängliche Dosierung von 0,22 mg/l, die benötigt wurde, um eine wirkungsvolle Behandlung zu erreichen, so würde die erwartete Konzentration im Salzwasser am Ende des Kanals beträchtlich geringer sein als die LC_{50} (96 h.) von 54,7 $\mu\text{g/l}$. Es hat sich erwiesen, dass wirkungsvolle Antiverschmutzungs-Maßnahmen durch ClO_2 bei Konzentrationen im Bereich von 0,05 – 0,25 mg/l stattfinden.

In offenen rezirkulierenden Kühlwassersystemen beträgt die typische Dosierung 1 – 5 ppm Chlor auf der Basis des geschätzten Volumens plus Zusatz während der Füllung des gesamten Systems. Typischerweise wird bei Betriebsbeginn Chlordioxid einem sauberen System zugeführt mit rund 1 ppm über eine Stunde, dreimal am Tag. Kontaminierte oder verschmutzte Systeme können erhöhte Dosierungen (3 – 5 ppm) und Zufuhrzeiten benötigen. Eine mechanische Säuberungsaktion kann erforderlich werden, um das Programm weiter zu optimieren.

Für Systeme, bei denen Prozesskontamination vermutet wurde, hat man empfohlen, eine Test des Chlorbedarfs des Systems durchzuführen. Aus dem festgestellten Bedarfswert kann die ursprüngliche Dosierung abgeleitet werden. Aus der Erfahrung zeigt sich, dass 30 – 50 % des Bedarfswerts für die ursprüngliche Dosierung angewendet werden können.

Tabelle XI.4: Typische Dosierung von Chlordioxid für Durchlauf- und rezirkulierende Systeme in Europa [CEFIC Sodium hypochlorite group, comment]

Kühlsystem	Anwendungsweise	Anwendungszeit	Typische Dosierung (mg/l)
Durchlaufsystem	kontinuierlich	8 Stunden am Tag/ während 8 Monaten im Jahr	0,4
Rezirkulierendes System	diskontinuierlich	6-mal für 1 Stunde/Tag	0,3
	kontinuierlich	Das ganze Jahr	0,2 im Winter 0,5 im Sommer

Tabelle XI.5: Wirkung von Chlordioxid, angewendet im Durchlaufsystem gegen Larvenablagerung
[U.S. data, Van Hoorn, comment]

Dosis	Frequenz	Verminderung der Ablagerung
0,25 mg/l	4 x 15 min/d	95%
0,25 mg/l	2 x 30 min/d	35%

Medienübergreifende Auswirkung:

Obwohl es kein THM oder Chlorphenole bildet, erwartet man, dass man unter gewissen Umständen Reaktionsprodukte wie Aldlehyde, Ketone und Chinone oder sogar Epoxide findet. Die letzteren sind bekannt als karazinogen oder mutagen .

Anwendung:

Die Behandlung mit Chlordioxid erfordert eine Einrichtung für die Produktion vor Ort. Wegen seiner Empfindlichkeit gegenüber Gas und Temperatur kann das Gas nicht komprimiert und in Zylindern transportiert werden. Drei Möglichkeiten für die Produktion vor Ort werden von [tm059, Swinnen, 1995] genannt:

1. aus Natriumchlorit/Chlogas
2. aus Natriumchlorit/Natriumhypochlorit/(Chlorsäure)
3. aus der Säureaktivierung oder Natriumchlorit mittels Chlorsäure

Zuführpunkt

Um die besten Ergebnisse zu erzielen, sollte Chlordioxid direkt in das rezirkulierende Wasser eines **Kühlturms** eingeführt werden und zwar an einem Punkt mit guter Durchmischung wie zum Beispiel unterhalb der Wasserlinie im kalten Schacht oder kurz vor der Ausrüstung, die am kritischsten ist. Ein Teilstrom von Chlordioxid kann zum Becken am äußersten Ende (gegenüber dem kalten Schacht) zugeführt werden, um eine „Fegewirkung“ quer über das Becken zu erzielen, oder in das Rückleitungssteigrohr für die zusätzliche Steuerung innerhalb des Turms.

Überwachung

Wenn Chlordioxid als Mikro-Biozid im Kühlwasser angewendet wird, ist es wichtig, die angewendete Menge und ihre Wirksamkeit zu überwachen. Die genaue Kontrolle der Chlordioxid-Rückstände mit besonderer Aufmerksamkeit auf die Keimzahlen liefert die besten Ergebnisse zu den wirtschaftlichsten Kosten.

Machmal kann im Rückleitungswasser einer rezirkulierenden Schleife oder im Abfluss eines Durchlaufsystems eine Restkonzentration an freiem Chlordioxid gefunden werden. In den meisten Fällen beträgt die Restkonzentration weniger als 0,5 ppm wie dies mit der Chlorophenol Red-Methode getestet wurde. In Systemen, in denen keine Restkonzentration an freiem Chlordioxid gefunden wird, kann man die Wirksamkeit durch die visuelle Beobachtung der Biomasse durch Zählung der biologischen Organismen oder durch die Messung des Differenzdrucks beurteilen.

In den USA wird Redox Control meistens als On-line Überwachungstechnik angewendet. Man berichtet, 350 – 500 mV seien typische ORP-Werte für gute Kontrolle.

Kosten:

Über Kosten wurde nichts berichtet. Man kam jedoch zu dem Schluss, dass es weiterer Forschung über die Anwendungsstrategie bedarf, um die Menge zu vermindern, die in **Durchlaufsystemen** benötigt wird und damit den Preis zu senken. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde er für den realen Betrieb als zu hoch angesehen (1996).

Referenzanlage:

Kraftwerk Brindisi Nord, Italien (Experiment).

Überlegungen:

Im Hinblick auf die Anwendung in **Durchlaufsystemen** müsste für einen Vergleich mit der Chlorung die Dosierungsverfahren vergleichbar gemacht werden, um in der Lage zu sein, die Eigenschaften von sowohl Chlordioxid als auch der Chlorung als Biozid und in der Ableitung zu betrachten. Weitere Forschung auf der Grundlage der oben erwähnten vielversprechenden Ergebnisse scheint nötig zu sein.

XI.3.4.5 Wasserreinigung durch Ionen zur Behandlung von Kühlturmwasser

[tm036, Wilsey, 1997]

Beschreibung:

Auf der Basis eines bereits bestehenden Konzepts ist die zusätzliche Wasserreinigung durch Kupferionen eine alternative Methode zur Kühlturmwasserbehandlung. Es wird behauptet, dass eine Wasserbehandlung, die nur mit Chemikalien durchgeführt wird, durch diese Technik ersetzt werden kann, die zu weniger schädlichen Stoffen führt und wirtschaftlicher für die Umwelt ist.

Verminderung:

Es werden Mikrobiologen zitiert, die festgestellt haben, dass geringe Mengen von Kupfer als Zusatz zu Chlor mit 0,4 ppm die gleiche Wirksamkeit haben wie 2,0 ppm freies Chlor.

Medienübergreifende Auswirkung:

Über Kosten wurde nicht berichtet, sie könnten jedoch für die dem Kupferionen-Generator zugeführte Energie anfallen.

Begrenzungen der Anwendung:

Um diese Behandlung anzuwenden, benötigt man einen Kupferionen-Generator zusammen mit einem Gerät zur Kontrolle der gesamten gelösten Feststoffe, ein magnetisches System zur Wasseraufbereitung und ein System zur Analyse der Zusammensetzung des Wassers. Mit diesen Systemen kann die Behandlung optimiert werden.

Eine Anzahl von Faktoren muss berücksichtigt werden. Die Zusammensetzung des Zusatzwassers muss so sein, dass der Sammelbehälter des Kühlturms eine Alkalikonzentration zwischen 40 ppm und 130 ppm enthält und pH-Werte zwischen 7 und 8 hat. Die Wirkungen des Kupfers sind, dass es als Koagulationsmittel zur Verminderung der Verkrustung führt und größere Komplexe bildet, die leichter zu trennen und zu filtrieren sind. Es wirkt auch als bakterielles Desinfektionsmittel, indem es Kupferverbindungen bildet, die für Bakterien und Algen tödlich sind. Schließlich hat es eine Funktion als Algenbekämpfungsmittel besonders bei blau-grünen Algen.

Die Aufmerksamkeit sollte jedoch der Menge des durch die Zyklen geführten Kupfers gelten, das auch die Konzentration in der Abflutung diktiert. Die verbleibende Konzentration der tödlichen Kupferverbindungen bedarf ebenfalls weiterer Überprüfung, da die Ableitung in das aufnehmende Gewässer schädliche Auswirkungen haben könnte.

Kosten:

Nicht berichtet.

Referenzanlage:

Nicht berichtet.

Überlegungen:

Die Ergebnisse müssen in der umfassenden Anwendung überprüft werden.

XI.3.4.6 Halogenierte Biozide im Kühlturmwasser stabilisieren

[tm62, Dallmier et.al, 1997]

Beschreibung:

Besonders Produkte auf der Basis von Chlor und Brom werden oft angewendet. Da die biozidale Wirkung eines halogenierten Biozids von der Halogenkonzentration abhängt, ist es wichtig, alle Reaktionen zu vermeiden, die die Konzentration im Kühlwasser senken können. Reaktionen mit anderen Korrosions- und Verkrustungsinhibitoren (z.B. Br mit Tolyltriazol) können auftreten. Halogene können stabilisiert werden, um ihre Flüchtigkeit zu vermindern, die Kompatibilität mit Inhibitoren zu erhöhen und genügend wirkendes Halogen beizubehalten. Die Stabilisierung von Brom wurde erreicht mit der Anwendung von Hydantoinen. Über den Stabilisierungsprozess wurden keine weiteren Informationen gegeben.

Verminderung:

Die Anwendung von stabilisiertem Brom in Kühltürmen zeigte folgende Wirkungen:

1. Der Verlust an Br aufgrund der Verdampfung ist geringer, wenn Br stabilisiert wird und somit mehr freies Br im Kühlwasser vorhanden ist.
2. Stabilisiertes Br schien beim Abtöten von schlickbildenden Bakterien um ein Drittel schneller zu sein als unstabiliertes Br.
3. Stabilisiertes Br schien beim Entfernen von Biofilm aus gemischten Kulturen sehr wirkungsvoll zu sein. Messungen ergaben, dass die Entfernung von 45 % des Biofilms eine Verminderung des Drucks quer über die Röhre um 47 % verursachte.
4. Die Anwendung in einem Büroklimasystem erwies sich als wirkungsvoll gegen Legionella pneumophila.
5. Mehr als 95 % des Korrosionsinhibitors für Messing, Tolyltriazol, wurde im Kühlwasser beibehalten, wenn stabilisiertes Br hinzugefügt wurde.

Medienübergreifende Auswirkung:

Über die Auswirkungen der Anwendung einer zusätzlichen Chemikalie zum Stabilisieren von Halogen standen keine Informationen zur Verfügung.

Begrenzungen der Anwendung:

Es wurde in rezirkulierenden Systemen (Nasskühltürmen) angewendet. Die Kommentare über die Anwendbarkeit dieser Technik betrafen die Anwendung von Hydantoinen. Es wurde berichtet, die Handhabung von Hydantoinen (in Form von Pellets) ist schwierig und erfordert Geräte zur Auflösung. Dies begrenzte die Anwendung auf Kühlsysteme von kleiner Größe. Gegenwärtig ist ein flüssiges stabilisiertes Bromprodukt auf dem Markt, das auch in großen Systemen angewendet werden kann.

Kosten:

Über die Kosten der Stabilisierung wurde nicht berichtet.

Referenzanlage:

Über den Einsatz des stabilisierten flüssigen Produkts in 2 Raffinerien (in Deutschland und Österreich) und einer chemischen Fabrik in Deutschland wurde berichtet.

Überlegungen:

Die oben erwähnten Wirkungen wurden bestätigt durch die Ergebnisse der Feldversuche. Es sind zwei Anmerkungen zu machen. Nach dem Hinzufügen des Stabilisators und dessen Verhalten im Kühlsystem oder der Abflutung wurden keine Beobachtungen berichtet. Die Gefährlichkeit oder die Vereinbarkeit mit der Umwelt konnten nicht nachgewiesen werden.

Die Auswirkung auf Legionella wurde in einem Klimasystem getestet, aber eine Übertragung auf die Bedingungen in Kühlturmsystemen wurde nicht vorgenommen.

XI.3.4.7 Filmbildende Mittel gegen Verschmutzung, Korrosion und Verkrustung**Beschreibung:**

Filmbildende Mittel werden angewendet, um die Oberfläche der Röhrensysteme auf der Wasserseite beschichten und damit Verschmutzung und Korrosion oder Verkrustung zu vermeiden oder zu vermindern; sie behandeln den Kühlwasserstrom nicht. Eine kommerziell verfügbare Verbindung mit Namen Mexel[®]432/0 wird in erster Linie angewendet und besteht aus langkettigen aliphatischen Aminen. In wässrigen Emulsionen bildet dieses Produkt einen Film auf den Zellmembranen, der abhängig von der Dosierung die Zerstörung der Gewebe in wechselnden Verhältnissen verursacht. Die Wirksamkeit dieser technologischen Alternative ist weder verknüpft mit Änderungen der Charakteristika der Wasserchemie noch der Wasserbiologie des Kühlkreislaufs, sondern eher mit der Adsorption oder Integration von Mexel[®] auf allen Oberflächen, die sich im Kreislauf befinden.

Der Anti-Verschmutzungseffekt kann erklärt werden mit der Integration der Mexel-Bestandteile in die biologischen Membranen und in den Biofilm. Diese Integration stört die Kohäsion der biologischen Struktur und führt bei hohen Konzentrationen zur Zerstörung der Membranen. Bei sublethalen Konzentrationen dringen

die Bestandteile von Mexel in die Membranen ein und unterbrechen die Übertragung von Ionen oder Gasen der Membranen. In diesem Fall erzeugt die Behandlung eine Stress-Situation für das Tier (Muscheln, etc.), die ausreicht, ihre definitive Ansiedlung in dem behandelten Kreislauf zu vermeiden.

Es verfügt über ein breites Aktionsspektrum bei Mikro- und Makro-Verschmutzung sowohl in Salz- als auch Süßwasser. Das Produkt hat auch Eigenschaften in den Bereichen Anti-Korrosion und Anti-Verkrustung und das Behandlungsverfahren ist generell diskontinuierlich mit der Absicht, den Film auf den zu schützenden Oberflächen zu erneuern. Es wurden Vorschläge dahingehend unterbreitet, dass regelmäßige Behandlungen bei Makro-Verschmutzung wirkungsvoller sein können. Der Film hält 10 – 20 Tage.

Die Dosierung erfolgt automatisch und beginnt mit einer anfänglichen Dosierung, um den Film herzustellen. Die Konzentration in der Ableitung und die Dosierungskonzentration werden vermindert sobald Mexal 432 in der Ableitung festgestellt werden kann. Der anfängliche Zeitraum für ein großes Salzwasser-Durchlaufsystem beträgt rund 10 Tage.

In Durchlaufsystemen wird die Analyse des Produkts entweder durch eine spektralphotometrische Labormethode oder durch eine farbmetrische Feldanalyse-Methode durchgeführt. Die zweite Analysemethode ermöglicht eine schnelle Kontrolle der Konzentration des Produkts an verschiedenen Stellen des Kreislaufs.

Ergebnisse:

Die Behandlungsbedingungen, definiert durch die einzugebende Konzentration ebenso wie durch die Dauer der Injektionen, sind abhängig von den erforschten Ergebnissen (Bewuchs, Korrosion, Verschmutzung oder Verkrustung), den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wassermediums und den Charakteristika des Kreislaufs (Typ, Temperatur, Zustand der Oberfläche, Materialien, Fließgeschwindigkeiten, etc.).

Es kann wirksam sein gegen zweischalige Weichtiere auf der Basis einer regelmäßigen Behandlung und mit einer verbleibenden Konzentration von 3,5 mg/l. Die Wirksamkeit von langfristigen diskontinuierlichen Behandlungen gegen Zebamuscheln wurde in den Experimenten auch aufgezeigt: eine Dosierung von 3 Stunden pro Tag mit 6 mg/l tötet 100 % der Zebamuscheln.

An der beispielhaften Anlage war eine Dosierung für den Korrosionsschutz an Aluminiummessing war eine Dosierung von 5 ppm über 30 Minuten am Tag ausreichend. Für die Makro-Verschmutzung wurde eine Dosierung von 0,5 ppm über 5 Std./Tag angewendet. Über die Bio-Überwachung wurden die Reaktionen der Muscheln auf die Dosierung erforscht, um ein optimiertes Behandlungssystem zu erkennen.

Medienübergreifende Auswirkung:

An dem besuchten Standort war ganz klar ein Vorteil, dass eine Elektrolyse des Salzwassers nicht mehr benötigt wurde. Das beendete auch die Wartung des Elektrolyseurs, der kostspielig ist sowohl im Bezug auf die Umwelt (menschliche Gesundheit) und Finanzen.

Drei Prozesse sind an dem Verschwinden von Mexel in der Lösung beteiligt: sofortiger Bedarf, Turbulenz des Wassers und der bakterielle Abbau unter aeroben Bedingungen. Die Bakterien zeigten einen Abbau von bis zu 98 % des Produkts in 10 Tagen.

Im Hinblick auf die toxischen Wirkungen des Produkts auf Süßwasserorganismen zeigte sich in natürlichen Wassern ein rapides Verschwinden des Produkts in seiner toxischen Form und das Fehlen von erkennbarer Toxizität während des Abbaus.

Begrenzungen der Anwendung:

Die Anwendung ist unabhängig von dem geprüften Material (Bronze, Kupfer-Nickel-Legierungen, Eisen, rostfreier Stahl 304L und 316L) oder dem Wassermedium (Süß- oder Salzwasser). Mexel kann ein wirkungsvoller chemischer oder biologischer Korrosionsinhibitor sein.

Die Anwendung ermöglicht die Behandlung von offenen oder halbgeschlossenen rezirkulierenden hydraulischen Systemen, die Flussgeschwindigkeiten von ein paar Kubikmetern pro Stunde (Klimaanlagen) bis zu 100.000 m³h⁻¹ in Süßwasser, Brackwasser oder Salzwasser haben.

Auf weltweiter Basis wird das Produkt angewendet für die Behandlung der hydraulischen Systeme (Kühlung, Brandschutz, etc.) von Elektrokraftwerken, geothermischen Anlagen, Transport, der chemischen Industrie, von Stahlwerken, Raffinerien, Offshore-Bohrinseln und Klimaanlagen, die Wasser als thermische Flüssigkeit anwenden.

Kosten:

Kostendaten wurden nur im Vergleich mit der Anwendung von Chlorung und besonders in Vergleich mit der Elektrolyse angegeben. Eine Bestätigung über die Differenz der Kosten zwischen Mexel im Vergleich zur Chlorung konnte nicht erlangt werden. Die Kosten sind abhängig von der zu behandelnden Oberfläche und nicht vom Kühlwasservolumen.

Referenzanlage:

EDF Kraftwerk, Le Havre (F).

Überlegungen:

Unter Umweltgesichtspunkten machen es die niedrige Toxizität und das Fehlen von erkennbaren toxischen Abbauprodukten als Alternative zur Behandlung von Kühlwasser akzeptabel.

Da das Produkt leicht biologisch abbaubar ist, kann dieser Vorteil ein Nachteil sein, wenn es um die Menge geht, die zur anfänglichen Behandlung der Oberfläche erforderlich ist. Seine Reaktionsbereitschaft kann die benötigte Menge erhöhen und die entsprechenden Kosten steigern. Wo Süßwasser generell einen höheren Gehalt an gelösten Feststoffen als Salzwasser aufweist, könnte dies auf eine bevorzugte Anwendung unter Salzwasserbedingungen hinweisen.

XI.3.4.8 Stabile organische Korrosionsinhibitoren in offenen Nasskühltürmen

[tm091, CTI, Little et. al]

Beschreibung:

Der Behandlung auf organischer Basis in einem offenen Nasskühlturm kann scheitern werden wegen ihrer Anfälligkeit gegenüber stark oxidierenden Mitteln, ihrer Empfindlichkeit gegenüber hohen Wärmestrombedingungen, ihrer Tendenz, sich als Kalziumsalze mit hohen Härtegraden abzulagern und des Bedarfs ständiger Wasserströme. Um diese Probleme zu überwinden, wurde Ethanolamine Bisphosphonmethyl, N-Oxid (EBO) entwickelt. EBO ist ein organisches Phosphonat, das in der Behandlung von Kühlwasser als ein anodischer Korrosionsinhibitor angewendet werden kann. Es wird berichtet, dass EBO gute Stabilität gegenüber Halogenen aufweist. Seine Stabilität bei Kalziumkonzentrationen von 500 mg/l Kalzium als CaCO_3 , abgepuffert bei einem pH von 8,3 und einer Temperatur von 60 °C wurde mit HEDP verglichen.

Verminderung:

Man fand heraus, dass mehr als 100 mg/l von EBO ohne Ablagerung hinzugefügt werden konnten, während es unter den gleichen Bedingungen nur 7 mg/l von HEDP waren. Es ließen sich keine nachteiligen Auswirkungen auf die Korrosion von Buntmetallen erkennen. Im Vergleich zu einer organischen Aufbereitung ohne EBO wurde die Korrosion erheblich vermindert.

Medienübergreifende Auswirkung:

Es kommt zu geringeren Wasserbedarf wegen der potentiellen Option von höheren Konzentrationszyklen, da EBO gegenüber hohen Kalziumhärtegraden weniger empfindlich ist.

Begrenzungen der Anwendung:

Nur im offenen rezirkulierenden System angewendet.

Kosten:

Nicht berichtet.

Referenzanlage:

Versuchskühlturm, es wird über keine umfassende Anwendung berichtet.

Überlegungen:

Die Anwendung von EBO und ähnlichen Chemikalien für die Wasseraufbereitung mit verbesserter Funktion bedarf der weiteren Erforschung der Toxizitätskonzentration in der Ableitung, bzw. der Abflutung der Systeme, bei denen sie angewendet wurden.

XI.3.5 Behandlung von abgeleitetem Kühlwasser

Die Minimierung der Emissionen auf der Basis eines integrierten Ansatzes beginnt mit der Minimierung der angewendeten Quellen. Als solches legt Kapitel 1 den anfänglichen Ansatz vor, der eingebracht werden sollte. Innerhalb der Begrenzungen des Kühlsystems und der besonderen Spezifikationen des Standorts kann möglicherweise eine gewisse Menge an Chemikalien noch angewendet werden müssen mit der Folge einer gewissen Ableitung. Überwachung und optimierte Behandlung sind in der Lage, die Ableitung weiter zu vermindern.

In einigen Fällen werden die abgelassenen Kühlwasserströme in Behandlungsanlagen für Abwässer aufbereitet. Bezüglich der Informationen über die Abwasserbehandlung wird auf das entsprechende BVT-Merkblatt verwiesen. Berichte über besondere Beispiele der Kühlwasserbehandlung wurden nicht vorgelegt. Im Hinblick auf die Behandlung können einige Anmerkungen gemacht werden:

- Die Behandlung der Abflutung mit Spitzenkonzentrationen nach der Dosierung kann in einem Pufferbecken gesammelt werden, um zu verhindern, dass die aquatische Umgebung oder die Einrichtungen zur Wasserbehandlung beeinträchtigt werden. In dem Becken kann die weitere Hydrolyse der Biozide stattfinden bis hinab zu weniger toxischen Stoffen, ehe das Wasser abgeleitet oder wieder verwendet wird.
- Wegen der Konzentration der Prozess-Stoffe kann die Abflutung von geschlossenen rezirkulierenden Systemen von Raffinerien möglicherweise behandelt werden müssen, ehe sie zu einer Anlage der Abwasserbehandlung geleitet wird, um zu verhindern, dass das Gleichgewicht der Behandlungsanlage gestört wird. Es wird behauptet, dass die Ölkonzentration dieser Abflutung generell viel niedriger ist als die verbliebene Ölkonzentration in dem vorbehandeltem Prozesswasser anderer Anlagen und deshalb kann diese Abflutung ohne Vorbehandlung zur Anlage für die Abwasserbehandlung geleitet werden.

XI.4 Variable Frequenz-Steuerungen zur Verminderung des Energieverbrauchs.

[tm097, Immell, 1996]

Beim Betrieb eines Kühlsystems kann die erforderliche direkte Energiezufuhr vermindert werden, indem man den Bedarf an Pumpenkapazität verringert und die Anwendung von Ventilatoren optimiert. In einer Situation auf der grünen Wiese kann man viel an der Auslegung vornehmen (z.B. Konstruktion des Kühlturms, Typ der Einbauten, Konfiguration der Pumpen), aber in einer bestehenden Anlage sind die Optionen begrenzter und bestehen aus Änderungen in der Ausrüstung.

Beschreibung:

Die Anwendung variabler Steuerungen der Ventilatorgeschwindigkeiten ist eine Option, die Ventilatorgeschwindigkeiten speziell an die erforderliche Kühlungsaufgabe anzupassen. Eine Technik ist die Anwendung variabler Frequenzsteuerungen (VFS). Eine VFS ist eine Kombination aus einem Spannungswandler und einem Wechselrichter (DC auf AC).

Kühltürme sind typischerweise auf die Bereitstellung von spezifiziertem Kaltwasser ausgelegt, das den Turm bei einer spezifizierten Wärmebelastung bei einer gewissen Feuchtlufttemperatur verlässt, die nur bei einem minimalen Prozentsatz des Jahres (1 – 2,5 %) auftritt. Die meiste Zeit arbeiten sie bei einer niedrigeren Temperatur als die der Auslegung, aber auf einer variablen Höhe auf der Basis der jahreszeitlichen Schwankung der Feuchtlufttemperaturen.

Mit dem VFS-System wird diese Schwankung auf unterschiedliche Geschwindigkeiten der Ventilatoren übertragen, um die erforderliche Wassertemperatur zu erzielen. VFS sind von verschiedenen Lieferanten auf dem Markt zu beziehen.

Verminderung:

Es werden die Verminderung im Energieverbrauch ebenso wie verminderte Lärmpegel und verminderte Schwingung wegen der langsameren Betriebsgeschwindigkeiten erreicht. Aufgrund des weichen Drehzahlwechsels des Motors (sogenannter weicher Start) wurde auch eine längere Lebensdauer der rotierenden Ausrüstung beobachtet.

Medienübergreifende Auswirkung:

Siehe Abschnitt über Verminderung.

Begrenzungen der Anwendung:

Um eine VFS anzuwenden wird eine Anzahl von spezifizierbaren Elementen genannt, die zu prüfen sind, zum Beispiel eine automatische Temperatursteuerung, die angemessene Anordnung des VFS an die Anforderungen des Ventilatormotors des Kühlturms und eine Analyse der Resonanz der Ausrüstung.

Kosten:

Ein Hinweis auf die Kosten wurde nicht gegeben.

Beispiel einer Anlage:

Im Hinblick auf Erfahrungen mit der Anlage wurde nichts erwähnt..

ANNEX XII SPECIAL APPLICATION: POWER INDUSTRY

[tm132, Eurelectric, 1998]

Synthesis

In order to synthesise the specific knowledge and enable other industries to benefit from it, this Annex has been drawn up within EURELECTRIC. It is the outcome of collaboration mainly between ELECTRICITÉ DE FRANCE, ELECTRABEL, LABORELEC and VDEW resp. VGB representing German Power Plant Operators. The results of the permanent various working groups of UNIPEDE²² and CORECH²³ have also been included.

The Annex is meant to give some background information for a better understanding of the information presented in the main document. It explains in a simplified way the operation of thermal power plants. It sets out the main functions of the cooling systems of the condenser and auxiliaries. The possible environmental impacts of cooling systems are then examined in more detail. This part of the Annex particularly concerns heat discharges, the suction of living organisms into water intakes, any discharges of treatment reagents and other potential detrimental effects, such as noise.

Also, an analysis of the various cooling techniques conceivable is made. It is referred mainly to the design of a new system and to be used as additional information for the determination of BAT. It deals with not only the technical and economic aspects, but also and especially with the ecological and energy impact of the various solutions. Its conclusions, although specifically aimed at the power industry, fall within the general BAT conclusions of Chapter 4 of the main document.

The main conclusions that have emerged from the analysis are:

- The impact of a cooling system on the receiving environment must be studied before the power plant is designed; to do so, numerical modelling and on-site tests in pilot loops are recommended;
- The design of the cooling systems must be studied while taking into account the ecological and energy impact to a maximum;
- The implementation of physical processes intended to limit fouling must be sought systematically (continuous mechanical cleaning, temperature increase, filtration, etc.);
- Chemical solutions must be studied on a case-by-case basis so as to limit their utilisation to the utmost;
- One best solution cannot be selected as too many local factors influence the choice of the cooling system of a power plant. They include not only the flow-rates available, but also visual aspects.

XII.1 Introduction

The thermodynamic cycle of conventional thermal power plants obeys CARNOT's principle. Efficiency levels reach about 40% for conventional new design but can achieve 47% in advanced design and under very favourable climatic conditions in particular when cooling water conditions are suitable (once-through cooling system), even with hard coal firing. The result is that nearly 45% of the amount of energy provided by combustion must be dissipated at the condenser level.

The condenser is the key point of the facility. Regardless of the mode of cooling adopted, it is in fact one of the main interfaces between the power plant and the surrounding environment. The

¹⁹ The International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy.

²³ Committee on Research.

efficiency and availability of a power plant depend to a great extent on the integrity and cleanness of the condenser. These are reasons why specific solutions have been adopted for a long time now: continuous mechanical cleaning by foam balls, corrosion-resistant alloys, such as titanium and stainless steel, etc. Also cooling water treatment systems have been developed and are in operation, in particular for circulating cooling systems.

Likewise, as cooling flowrates may reach several dozen m³/s, the modes of treatment adopted and solutions selected may be difficult to extrapolate to other industries.

XII.2 Power plant cooling systems - principles and reminders

The operation of power plants is governed by CARNOT's principle. The heat source, the boiler, provides the energy required for water vaporisation. The cold source, the condenser, condenses the steam coming out of the low-pressure turbine.

One of the main characteristics of a power plant, from the technical and economic standpoints, is its **specific consumption**, in other words, the amount of heat needed to produce one kWh of electrical energy. This specific consumption results from the thermal cycle balance (table 1).

Table XII.1: Example of simplified balance of a thermal cycle for conventional new design

Energy transformation	Energy (kJ)	(%)	Efficiency (%)
Energy from combustion	9000	100	100
Steam generator loss	1050	- 11.7	88.3
Condenser "loss"	4200	- 46.5	41.8
Feedwater heating	(2000)	(22.2)	(Looping)
Turbogenerator losses	65	- 0.75	41.05
Power supply of auxiliaries	65	- 0.75	40.3
Loss in main transformer	25	- 0.2	40.1
Overall efficiency of the facility			40.1

The presence of the cold source is the main consideration. Not always can cooling systems use water drawn directly from a river, sea or lake. It may be necessary to use a recirculating system with a cooling tower. A look at the thermal cycle balance shows that 4200 kJ must be yielded for each kWh generated. In addition, this energy cannot be recovered because its exergy is low.

New generation systems, especially combined cycles (or gas-steam turbines), make it possible to obtain higher efficiencies of even more than 55%.

The cooling system, which serves to evacuate this energy, is generally called the circulating system. The condenser tube bundle contains cold water drawn from a river, the sea or a lake. The heating and flowrate of this water depend on the installed capacity (table 2).

Table XII.2: Relationship between the installed capacity and cooling parameters
(Values as an example, depending on type of the circulating system, the ambient air temperature, cooling water resource temperature)

Rated capacity of the unit (MW)	Circulating water flowrate (m ³ /s)	Heating of water in the condenser (K)
125	3 – 5	7 – 12
250	6 – 10	7 – 12
600	14 – 24	7 – 12

Each unit also has an auxiliary cooling water system:

- generator seal oil coolers,
- compressor coolers;
- etc.

Closed-loop cooling systems, supplied with demineralised water, are systems for:

- generator stator cooling water coolers;
- generator hydrogen coolers;
- etc.

Depending on the units, the cooling water flowrate of this cooling system of the **auxiliaries** represents normally about 4 to 8% of the circulating water flowrate. Heating is limited and amounts up to 10 K, according to the auxiliaries in operation. However, even with a low thermal load, it can remain in service several days after the shut down of the unit to evacuate the residual heat.

XII.3 Possible environmental impacts of cooling systems

The heat releases at the cold source mainly concern two receiving environments: air and water. But, in fact, even if the discharge occurs into an aquatic-environment, the ultimate heat sink remains the atmosphere. Indeed, the water gradually transfers the heat received by various natural processes: evaporation, conduction, radiation. For economic reasons, water is the first area where one looks.

Before wondering what techniques may be acknowledged as BAT for cooling systems, it seems desirable to make an analysis of any detrimental effects on the natural environment, estimate their nature and amplitude and judge them, in other words decide whether they remain tolerable or not.

XII.3.1 Heat discharges to the atmosphere

Regardless of the type of cooling system, all of the heat conveyed to the cold source is transferred to the atmosphere. This is carried out on a specific basis in the case of cooling towers, air-cooled condensers and dry cooling towers. In the case of once-through cooling systems on a river, lake or the sea, the heat is transferred via the surface of the receiving water body, over a large area and with a certain time lag, depending on the local situation.

In power plants cooled by a **once-through system** (Figure XII.1, Section XII.11), pumped water is generally heated from 7 to 12 K when the units operate at their rated capacity. The discharged cooling water is progressively cooled by mixing with the receiving water. The heat is then transferred to the atmosphere by three conventional processes: evaporation (35 to 45% of the energy released), by radiation of the water surface (25 to 35%) and by conduction with air (20 to 30%). Depending on the local situation the outlet temperature could be limited by the local authority.

Energy transfer by evaporation represents a vapour flowrate of 20 kg/s per 100 MW_{th}. Considering the rapid decrease of water heating process downstream of the discharge, the only atmospheric phenomena likely to be modified are occurrence frequencies and the persistence of evaporation fog in the area close to the release, where temperature differences are still considerable, but the extent of which is limited.

It is worthwhile noting that, all things considered equal, the temperature of the formation or disappearance of evaporation fog is higher above salt water than above soft water. This circumstance is therefore favourable to power plants sited in estuaries or along seacoasts.

For power plants equipped with **wet cooling towers** (Figure XII.2, Section XII.11), everything occurs as if the heat was released directly to the atmosphere. Two kinds of operation methods are in practice:

- once-through cooling with cooling tower (Figure XII.3, Sector XII.11) and
- recirculating cooling (Figure XII.4, Sector XII.11).

The discharge takes place in a concentrated way over a small area. Wet cooling towers transfer to the atmosphere about 70% of residual heat in the form of latent heat (wet vapour) and about 30% by sensitive heat. Thus, the vapour flowrate released to the atmosphere is roughly twice that resulting from once-through cooling without cooling tower. Air saturated with humidity is released to the atmosphere at a temperature of about 10-20 K above ambient temperature and at a velocity up to 3-5 m/s in the case of natural draught cooling towers. This velocity is doubled in the case of mechanical draught cooling towers. This air saturated with humidity, by cooling through turbulent mixing with ambient air, may give rise to the formation of artificial clouds or plumes.

The risks of fog formation on the ground resulting from the lowering of the condensation plume may be relatively frequent especially with mechanical draught cooling towers (Figure XII.5 XII.6 and XII.7, Section XII.11) due to their low height and in conditions of cold humid weather without wind. The relevant area is about 500 m from the emission source.

The frequency is considerably reduced, when the cooling towers get higher. In plains, one may estimate that the lowering of plumes reaching the ground is exceptional as of a height of 50 to 75 m depending on the local situation.

The formation of frost may result from the contact with the ground frozen either by the fog due to the lowering of the plume, or by precipitation linked to priming, or by sprays from the base of the cooling towers. However, the impact of such sprays remains confined to an area near the cooling tower and concerns at the very most the several dozen metres close to the base of the cooling tower.

The main climatic modification due to the operation of wet cooling towers concerns a local increase of nebulosity by the development of the condensation plume which results in the reduction of sunshine and light in the vicinity of the power plant.

For power plants equipped with **dry cooling towers** (Figure XII.11, Section XII.11) or **air-cooled condensers** (Figure XII.9 and 10, Section XII.11), the absolute humidity of the air is not changed, but its temperature is higher by about 15 to 20 K above the ambient temperature. All of the heat is released in sensitive form and the non-saturated hot air, which rises in the atmosphere, seldom leads to cloud formation.

Hybrid cooling towers (wet/dry) (Figure XII.8, Section XII.11) make it possible most of the time to avoid the formation of plumes. Water consumption (i.e. make up water) is 20% less than that of a wet cooling tower. However, at the present time, the only hybrid cooling towers available are of the mechanical draught type. The annual balance of a power plant with mechanical draught type hybrid cooling tower can be in the same range to that with a comparable mechanical draught wet cooling tower. This takes into account the operation mode.

Since a few years at fossil fired power stations the discharge of desulphurised flue gases via cooling tower is state of the art at least in Germany. It is an alternative to traditional discharge by stack and has ecological and economical advantages.

XII.3.2 Heating of receiving aquatic-environments

Although the final heat sink is the atmosphere, in most cases, a fairly large part of the discharge of a thermal power plant takes place in the aquatic-environment. Various physical phenomena come into play here:

- turbulent diffusion,
- convection in water,
- flow of fluids of variable density,
- evaporation, radiation, convection in the air.

Depending on the extent of the discharge and according to the receiving environment, such a phenomenon is preponderant and affects the way the heat is distributed in the receiving environment.

The near field of the cooling water discharge should be distinguished from the far field.

The **near field** is defined in a river as the area in which the mixing of the warm water plume with river water is incomplete.

The water temperature in the near field depends upon the mixing of water released by the power plant with the water of the receiving environment. Heating can be reduced in this area by rapidly mixing the effluent with the water of the receiving environment by means of specific devices.

The **far field** is the warm water geometry that is fully mixed with depth within the water column and is thus a background heat field. The excess temperature in the far field is gradually reduced due to the dilution with ambient waters and heat exchange with the atmosphere.

As concerns discharges in a **tidal sea or sea with strong currents**, the warm water plume formed by the discharge of the power plant is mainly governed by the existence of major velocities in the receiving environment. They bring about a rapid mixture of the water preventing any stratification caused by the difference in density between the warm water and cold water. The temperature drop in the warm water plume principally comes from the mixing and not from heat losses at the surface of the water area. The extent of the warm water plume in a tidal sea, defined as the area within the 1 K heating isotherm, covers an area from 2 to 10 km² for a discharge corresponding to that of a 5 000 MW_e nuclear power plant.

The behaviour of the warm water plume in a **tideless sea** is first of all that of a stratified flow. The temperature drops very quickly through dilution due to friction and turbulence. In a tideless sea (or lake) the spreading or transport of cooling waters is strongly influenced by wind-induced currents and thermocline conditions and is estimated as roughly 1 ha/MW_e.

Normally for coastal power plants the cooling water is discharged to the sea surface through an open discharge channel.

The behaviour of the warm water plume in an **estuary** is similar to that in a tidal sea with strong currents. The alternative movement of water plays an essential role. The river flow will tend to transport the heat towards the sea. The incoming tide will slow down or change the direction of flow, and will thus affect the spreading of the warm water plume in the estuary.

The assessment of the heating of a river subsequent to a warm water discharge is relatively complex. Indeed, the cooling mechanism of the river downstream mainly results from the exchange of energy between the river and the atmosphere. The energy flow between the stretch of water and the atmosphere fluctuates considerably depending on the meteorological conditions and the time of day.

In a river, diffusers distributed all along the width of a waterway serve to carry out the mixture over a distance of several dozen to several hundred metres. If the discharge is performed along the bank, complete mixing by natural flow is carried out over a few kilometres instead.

In all cases, **recirculation in the river must be avoided** or the recirculation rates for discharges into the sea and especially in the estuary reduced to a minimum to ensure efficiency and safe operation of power plants. The position and design of water intake and outlet structures are determined to eliminate the risk of recirculation.

Preliminary studies make it possible to design water intake and outlet structures and devices best adapted to avoid recirculation and favour the initial mixing of heated water discharges. They rely on physical models (hydraulic models) and numerical models. Where possible the numerical modelling etc. should be based on site-specific hydrographic survey data.

The use of these tools as part of the impact study of projected facilities serves to give assurance that regulatory thermal limitations will be respected, whether they concern maximum heating in the mixing area or the temperature level after the mixing.

XII.3.3 Suction of organisms into water intakes

When pumping the water needed for cooling, thermal power plants draw in microscopic organisms (algae and plankton), as well as organisms which swim in the open water (some crustacea and fish). The plankton passes through the rotating filters the mesh of which is generally between 1 mm and 5 mm. This does not hold true for crustacea and fish, which are flattened against the filtering panels, drawn up and discharged with the washing water of the filters.

Some studies have shown that most of the organisms drawn into the water intakes are small in size: Shrimps, larvae and alevin in the sea and estuary or alevin in rivers. The case of young salmon migrating downstream, which are particularly drawn into the water intakes, is specific for the behaviour.

To limit the entrainment of these species, three types of measures may be taken:

1. Place the intakes outside critical areas, such as spawning grounds and "fish nurseries" on the seaside, or migration routes for eel larvae in estuaries;
2. Design intake structures which minimise the drawing in of organisms;
3. Equip intakes with repulsive devices or equipment, which restore organisms to the environment without damage.

A lot of deterrent systems (repulsive devices) have been developed and installed at water intakes of hydropower and thermal power stations over the last decades:

- In freshwater bodies, electric fish screens can frighten away fish of specific stages, but do not affect fingerlings or even attract them into the intakes;
- Air bubble curtains generally had very bad results;
- Light is partly efficient on certain species, but fish can be acclimated and the deterrent effect is not constant;
- Some results with sound deterrent systems are promising, but there are contradictory results.

The investment costs depends on the size of the intake and the flowrate and can be roughly estimated to be in the range of Euro 40000 to 200000.

4. Equip intakes with recovery systems, which restore organisms to the aquatic-environment without damage.

In large water intakes with travelling screens, the organisms can be removed with a fish pump or washed out of the screen by low-pressure water jets (1 bar). At a power station on the

Gironde Estuary (France), such systems showed relatively good efficiencies with survival results of 80% to 100% for shrimps, plaices and eels. Other attempts have been less effective or very costly.

The first two actions, of a preventive nature, are preferable to curative actions the efficiency of which presently remains problematical. A universal, widely applicable, solution is not available.

XII.3.4 Alteration of the receiving environment by chemical discharges

The water withdrawn for cooling purposes may sometimes be the cause of chemical releases into the receiving environment. The following may be concerned in particular:

- reagents used to avoid the scaling of cooling systems equipped with cooling towers;
- reagents used to fight against biological developments, reaction products of some of them;
- iron sulphate anti-corrosion treatments to protect, in some cases, copper alloy condensers;
- corrosion products of heat exchangers and piping.

As concerns the **marine environment**, the purpose of the biocide treatment is to maintain the systems sufficiently clean so as to ensure their proper operation. For the sea intakes, the main problem is to avoid the development of molluscs (mussels, oysters, etc.) inside the cooling system. The current practice is the injection of chlorine. It is generally produced on-site by sea water electrolyses. This process avoids the risk involving the transport of NaOCl by truck. The chlorination can be made on continuous or discontinuous (seasonal) basis depending on many factors such as meteorological characteristics of the site, water quality, cooling circuit design and biofouling typology (settlement periods and growth rates).

Mainly the injection takes place in low doses so that the concentration in free chlorine in the discharge is generally between 0.1 and 0.5 mg/l normally (sporadically 0.7 mg/l). The value of this limit concentration is set by local regulations.

However, when it reacts with some organic matter, chlorine may lead to the formation of organo halogenated substances (mainly bromoform in seawater). Some studies nevertheless show that bromoform concentrations in the plumes of warm water discharges from coastal-sited power plants remain extremely low (about 15 µg/l).

It would be advisable here to compare this figure with the natural production of organohalogenated substances in the oceans. According to Grimvall and deLeer (1995), the annual production of a number of organohalogenated substances is:

- chloromethane : 5.000.000 t;
- bromomethane : 300.000 t;
- iodomethane : 300.000 t to 1.200.000 t;
- chloroform : 90.000 t to 360.000 t;
- bromoform : 500.000 t to 1.000.000 t;
- iodoform : not detectable in sea water.

The natural concentrations in AOX ranging from 6 to 17 µg Cl/g of sediment in the Gulf of Bothnia and from 50 to 180 µg Cl/g of sediment in the Gulf of Finland were measured. The presence of these organohalogenated molecules has been attributed to biohalogenation reactions.

Chlorination is the anti-fouling chemical treatment method that is the most commonly used to protect the systems of coastal-sited power plants. Another oxidant, chlorine dioxide, has nevertheless been tried with success on thermal power plants.

For a great many years, the choice of the alloy for the tubes of heat exchangers in coastal-sited power plants has gone towards titanium. Under these conditions, the contribution of corrosion products is insignificant, or even inexistent. However, there are still condensers in copper alloy

which are protected by a film of ferric hydroxide produced by adding ferrous sulphate to the cooling water.

For **river-sited** power plants the contribution of chemical reagents will depend to a great extent on the type of cooling system and any biological problems.

Generally, operation with recirculation increases the **risks of scaling**. This often requires setting up a specific treatment of make up water or cooling water. The modes of treatment that may be used are as follows:

- no treatment when the water is not very mineralised,
- lime softening of make up water,
- acid vaccination of circulating water,
- treatment with precipitation retarder,
- combined treatments of the type: acid vaccination and scale inhibitors or lime softening and acid vaccination.

The choice of the mode of treatment depends on many criteria the following of which are mentioned for example:

- concentration factor,
- chemical composition of the river water,
- design of the cooling system.

The treatment depends on the concentration factor of the cooling system:

- with a low concentration factor (1.05 to 1.2), it is not generally necessary to treat the water of the system,
- with an average concentration factor (1.2 to 2), an acid vaccination of the circulating water is necessary when the hardness of the water is high,
- with a high concentration factor (3 to 7); the lime softening of make up water often becomes the only choice possible, and may be supplemented by a light acid vaccination.

The **acid vaccination** of circulating water can be carried out in three different ways: either by maintaining the pH within a range generally included between 7.5 and 8.5, or by limiting the total alkalinity to 100 mg CaCO₃/l (for make up water with low sulfate-content), or by respecting regulation instructions which take into account the alkalinity, calcic hardness and temperature. Sulphuric acid is used in most cases.

The purpose of the **lime softening** of make up water is to raise the pH of the water up to 10 so as to precipitate the calcium and part of the magnesium in the form of carbonate and hydroxide. At the outlet of the decarbonator, the concentration of residual calcium varies between 0.5 and 1 mequivalent. However, it is combined with carbonate, which makes the treated water extremely scaling. To restore the balance of decarbonated water, a post vaccination with sulphuric acid is often carried out. The lime softening results in the production of a large amount of sludge. In addition, by increasing the pH, lime softening may result in the precipitation of some heavy metals present in the withdrawn water.

The sludge produced by precipitation in the softening process is collected in the bottom of a clarifier. It is normally pumped to a sludge thickener, where the solids concentration increases by further sedimentation usually assisted by injection of polyelectrolyte. The clear water returns to the clarifier while the concentrated sludge is further dehydrated in vacuum drum filters or belt filters.

The cake produced by dehydration with remaining water content of approximately 50% is removed for disposal in landfills. No environmental effects have been reported from softening sludge landfilling sites.

The **continuous chlorination** of the circulating systems so as to eliminate the formation of biofilm on the condenser tubes was given up a long time ago since mechanical methods have been applied (Taprogge, Technos systems, etc.). But chlorination as such is still an effective treatment. In practice, five chlorination treatments can be applied:

- end-of-season; for example continuous chlorination at low level (0.5 mg/l) for 2 to 4 weeks at the end of the settlement period of the freshwater Zebra mussel *Dreissena polymorpha*;
- periodic treatment: several periods of continuous addition of biocide during the settlement season;
- intermittent treatment: frequent dosing (every day or three days for example) for short periods of time (some minutes to hours);
- continuous treatment at low level during the settlement period; for example in the North Sea and the English Channel, chlorination at 0.5 to 1.0 mg/l., 7 months a year, to eliminate marine mussels. Residual oxydant at the outlet 0.1-0.2 mg/l;
- semi-continuous treatment consisting of short term periods of treatment (15-60 minutes) then stopped for equally brief periods. A semi-continuous chlorination or pulse-chlorination at low level is used in Canada against the Zebra mussel and in France and the Netherlands to control the marine mussels in power stations.

The **massive chlorination or shock dosing** is a specific procedure that has been developed to eliminate filamentous algae which develop in the basins and the fills of cooling towers. The concentrations at the injection point vary between 5 and 25 mg Cl₂/l. In order to avoid the release of chlorine into the receiving environment, the blowdowns are closed for a few hours. They are open when the concentration of free chlorine in the circulating water is lower than the discharge limit. Depending on the authorisations, this limit varies between 0.1 and 0.5 mg TRO/l. Some discharge authorisations are expressed in flows. These treatments are not carried out on all the sites.

The frequency of massive treatments depends to a great extent on the quality of the water, the concentration factor and the general state of cleanness of the circulating system. It may be weekly, monthly or quarterly.

The reaction of chlorine with humic and fulvic matter leads to the formation of organochlorinated compounds. In fact, bromide ion concentrations in river water are generally insignificant. Under these conditions, only organochlorinated compounds can be formed. Volatile compounds such as chloroform, dichloromethane, (POX) and adsorbable compounds (AOX) can be distinguished.

However, as is the case for sea water, the presence of organohalogenated compounds in inland surface waters is not solely due to the chlorination of the cooling systems. Among the other possible sources, particular mention should be made of agriculture and natural production. In unpolluted lakes - for example in Sweden - AOX concentrations ranging from 10 to 190 µg Cl/l. The highest concentrations have been measured in highly eutrophicated lakes.

Among the parameters which affect the reactions resulting in the formation of organochlorinated compounds during the disinfection of cooling water, the following should be mentioned:

- humic or fulvic concentration,
- free chlorine concentration,
- reaction time,
- pH of the environment,
- reaction temperature,
- presence of ammonium ions.

These complex reactions can be modelled and validated by measurements carried out on the sites.

The chlorination of the once-through systems does not result in significant increases of organochlorinated compounds. Indeed, the contact times are short, about 10 minutes at most, and the concentrations of free chlorine are low. According to the chlorination procedures used, the POX and AOX concentrations measured at the peak vary between 0 and 10 µg Cl/l and between 20 and 150 µg Cl/l, respectively. These values correspond to free chlorine concentrations at the injection included between 0.5 and 10 mg/l.

The chlorination in a closed loop of circulating systems may lead to higher concentrations of organochlorinated compounds. The following factors play an unfavourable role here:

- the contact time is longer,
- the recirculation increases the concentration of precursors.

It should nevertheless be mentioned that the increase of pH linked to the degassing of CO₂ is favourable to the formation of POX. The latter are easily transferred to the atmosphere via the cooling tower.

Under these conditions, the concentrations of POX are included between 0 and 10 µg Cl/l and the concentrations of AOX between 200 and 2 500 µg Cl/l. For concentrations of free chlorine at the injection included between 5 and 25 mg/l and stay times varying between 2 and 70 hours.

One should note, however, that the presence of low concentrations of ammonium ion in natural water may considerably reduce POX and AOX concentrations. Actually, the kinetics of the chlorine-NH₄⁺ reaction is more rapid than those of the reactions taking place between the chlorine and aromatic compounds.

XII.3.5 Other possible harmful effects resulting from the choice of some cooling systems

The use of natural draught, forced draught and hybrid cooling towers, or also of dry condensers and cooling towers, makes it possible to considerably reduce the water flow requirements of a power plant and, consequently, to limit the possible impact on the aquatic-environment. However, the presence of cooling systems on a site may pose other problems. They concern in particular problems of aesthetics and noise of wet cooling towers. For dry cooling towers and condensers, in addition to the two previously mentioned aspects, there is also the possible dissemination into the air of corrosion products from the heat exchange surface area, in particular, when the heat exchangers consist of finned tubes made of galvanised steel.

Natural draught wet cooling towers, the sober form of which is generally not unpleasant, are nevertheless structures that can be seen from afar and that cannot be concealed in a fairly flat landscape.

On the other hand, **mechanical draught wet cooling towers or hybrid cooling towers**, the aesthetics of which is itself much more debatable, present the advantage of generally being lower than the main part of the power plant.

Nevertheless beyond that it is required to quote comparative factors between different technologies since a lot may depend on the assumptions made by manufacturers in giving cost data.

Similar remarks may be made for **dry cooling towers and air-cooled condensers**. The size effect is nevertheless much more considerable. This is because the low exchange properties of air require much larger structures. In addition, in the case of mechanical draught systems, the power necessary for air supply is about 2% of the unit's net electrical output. For the same

thermal power to be dissipated, the size effect is therefore three times higher than that required for wet cooling towers and combined systems.

A certain detrimental effect that can be caused by a cooling system resides in the emission of noise at the air inlet and outlet. Even for a **natural draught wet cooling tower**, the sound level may reach 60 dBA at 100 m. For a **mechanical draught wet cooling tower and hybrid cooling tower**, the noise level comes to about 70 dBA under the same conditions. It is close to 80 dBA for **air-cooled condensers**.

XII.4 Prior study of the sites: indispensable tool for the evaluation of their receiving capacity, impact control and prevention of harmful effects

XII.4.1 Analysis of the situation

The cold source is one of the determining elements in the choice of a site. That's why great care is taken at a very early stage with regard to the environmental problems posed by the cooling of a power plant. As mentioned earlier on, these problems may be of several kinds:

- water heating by once-through systems,
- effect on the quality of water and on aquatic organisms, in the case of wet cooling towers,
- effect on the quality of air, in the case of dry cooling towers,
- meteorological effects, discharges of chemical substances and problems of noise regardless of the mode of cooling adopted.

The designer is not powerless in the face of the problems posed. The knowledge acquired through great many observations made in the vicinity of existing power plants constitutes a solid experimental basis serving to effectively orient the studies to be undertaken prior to the installation of a new power plant.

XII.4.2 Mathematical modellings, simulations on models and tests on pilot loops, first indispensable tools

The interest of **numerical models** has been mentioned for forecasting thermal changes in the near field as in the far field.

In the near field, fairly sophisticated tools serve to describe the dilution conditions of thermal discharges. They are used at the local discharge level. These models serve to dimension the outfall structures to the best possible extent so as to ensure the optimum dispersion of the warm water plume in the receiving environment as quickly as possible and thus limit its impact to a minimum (meteorological and hydrobiological data).

In the far field, the parameters that have to be taken into account are much more complex. They concern not only the characteristics specific to the receiving environment, but also discharges originating from other companies. Much more complex models have been developed to this effect. They take into account biological parameters of water quality and take into account the presence of chemical pollutants. They integrate various pollution sources and provide an assessment of response of waterways or lakes to thermal and chemical disturbances or the excessive contribution of nutrients (eutrophication phenomenon).

There are also other models used to simulate the accumulative impact of several wet cooling towers installed on the same site.

The forecast making use of numerical models must rely on field data and experimental knowledge. These **in situ and laboratory studies** are required to define and optimise the anti-fouling treatment or systems cleaning periods. Biological studies make it possible to know the

periods of reproduction and fixation of larvae, as well as the rate of growth of the main biological species. These field and laboratory studies are long. Indeed, in the ecological field, forecast analytical tools have not yet been wholly validated.

To determine the mode of treatment of the recirculating systems, systematic tests on pilot loops are carried out. The purpose of these tests is to grasp the **scaling risks** on the one hand and on the other hand to define the optimum mode of treatment, as well as the operating instructions. Among the laboratory studies are to be found model simulations, such as for the visualisation of water vapour and warm water plumes phenomena.

XII.5 Design of components and choice of materials

XII.5.1 Wet cooling

As mentioned previously the problems encountered in wet cooling systems may be of three types:

- corrosion,
- scaling,
- biological developments.

For many years now, and almost naturally, the choice of materials used in the cooling systems of power plants has been oriented towards corrosion-resistant materials. It must be mentioned that the pressure within the condenser of a power plant is about 35 mbar but can be lower in units optimised to achieve higher efficiency - in particular when climatic conditions are suitable or may be even higher when climatic conditions are unfavourable. Under these conditions, the slightest leak in the tubes leads to the ingress of impurities into the water-steam cycle. The damage incurred by these intrusions may be substantial and reduce the efficiency of the unit, or even lead to its shutdown.

In order to avoid the ingress of raw water into the water-steam cycle, the choice of materials went to highly resistant alloys. Titanium is thus almost always used in seawater and brackish water. For river water, condensers are equipped with 316L (or even higher Mo-content if concentration of chloride ions is higher than 100 mg/l) stainless steel tubes most often or brass or sometimes made of titanium. In order to limit the formation of deposits (sediments and biological developments) in the tubes, the minimum average velocity is fixed at 1.8 m/s for brass. For other material as stainless steel or titanium, the maximum average velocity is much higher. The choice of the average velocity is in fact the result of the optimisation of the cold end taking into account the power required for the pumping that is the function of the velocity in the tubes. Generally, the optimisation for stainless steel or titanium leads to a velocity in the range of 1.8 - 2.5 m/s.

The tube plates are often made of carbon steel or titanium cladding. Appropriate painting (epoxy or ebonite coating) protects the side in contact with the recirculating water. In some particular cases, cathodic protection devices have been installed to solve galvanic corrosion problems among others.

Even if rich, alloys such as stainless steels may be the subject of particular corrosion, like corrosion beneath deposits. To avoid these phenomena, the tubes must remain clean under all circumstances. This objective may be met in two ways:

- either by a continuous injection of rapid-action biocides, generally an oxidising biocide, such as chlorine;
- or by a continuous mechanical cleaning process. There are various processes in existence. They consist in the injection of brushes or foam balls, which are recovered and reused on a continuous basis.

The desire to reduce the use of chemical reagents imposed the second solution.

To avoid corrosion of stainless steel, a particular procedure is recommended for the conservation of the tubes that is carried out during long shut down of the installation. This conservation consists of draining, washing and drying the inside of the tube.

The main heat exchangers of auxiliary cooling systems generally consist of coolers made of steel or stainless steel. The distance between the plates is relatively short, which sometimes leads to silting up. However, these systems operate according to the one of two or two of three principle. In other words, the operation of one or two systems is sufficient to carry out the cooling of the auxiliaries, with the additional train playing the security role. This design choice serves to schedule periodic cleaning operations. These operations consist in dismantling the unused heat exchanger and in cleaning the plates with pressurised water.

The make up and outfall structures, main circulating water conduits and cooling towers are made of reinforced concrete. The choice of cement used depends on the mode of treatment to be adopted for the circulating water. Thus, in the case of sulphuric acid vaccination, it is sometimes indispensable to use special cements. The addition of fly ash is recommended. In the case of higher sulfur acid concentration the use of special coatings is required.

The **fill** of cooling towers is usually made of thermoplastic materials. Specific loads are often added during fabrication so as to make them fire resistant. The risk of fire in the fills is particularly high during the maintenance operations. This choice avoids the problems of asbestos encountered with the packings of the previous generations. In addition, recent developments have made it possible to substantially increase the thermodynamic properties of the fill. The choice of lighter synthetic materials and enhanced performances has served, for an identical thermal load, to appreciably reduce the size of cooling towers. However, some present profiles show a larger sensitivity to (bio)fouling and scaling.

As can be seen, the choice of a fill depends on several factors. More than the performances sought, it is rather the quality of water (presence of suspended matter, scaling tendency) which imposes the choice of the profile. The manufacturers still have a great deal of progress to make with regard to this particular point. The ideal profile is, of course, the one which guarantees high performances while being not very sensitive to (bio)fouling and scaling.

The standard **drift eliminators** currently used make it possible to limit the amount of water drawn in by priming to 0.01% or even less of the total flowrate. For facilities built near major trunk roads, these values can be further reduced. A compensation of loss of capacity is necessary in this case. Separators are also made of plastics.

Part of the **pumping energy** can be recovered by installing cooling towers equipped with recuperators located under the fill. However, these cooling towers are extremely sensitive to frost. Before opting for this solution, a study of local climatic conditions is absolutely necessary.

XII.5.2 Hybrid cooling

Hybrid cooling towers are recommended for special site conditions. The essential characteristic of hybrid cooling towers is to combine an evaporative process with a non-evaporative process. This results in a decrease of relative humidity and therefore the almost complete disappearance of the plume at the outlet of the cooling tower. In connection with mechanical draught it is possible to reduce the tower height considerably. The investment costs are higher than for a wet cooling tower.

In general the energy consumption related to the operation of fans and the higher temperature of the cold source, result in lower cycle efficiencies and higher fuel consumption.

XII.5.3 Dry cooling

Dry cooling is mainly used in regions with insufficient water supply.

XII.5.3.1 Forced draught air-cooled condenser (Figure XII.9, Section XII.11)

In an air-cooled condenser arrangement the exhaust steam from the steam turbine is ducted to the air-cooled condenser (ACC) where the steam is distributed through a large number of finned tubes. Cooling air is forced over these tube bundles by fans. The steam rejects heat directly to the atmosphere via the finned tubes, condenses and flows by gravity into a condensate tank. From the condensate tank it is returned to the boiler. A typical design for the heat exchanger is the “A” frame condenser (other framework designs are also possible to accommodate the tube elements, fans, and steel structure).

Large dry condensers tend to have long and complex steam tube systems, which may cause siting, and pressure drop problems. To minimise pressure losses in the steam ductwork the cooling bundles are generally located immediately adjacent to the turbine hall. Depending on-site conditions, the ACC concept is technically feasible to cover a wide range of power plant unit sizes.

Compared to wet cooling systems, the ACC's efficiency of heat transfer to the atmosphere is relatively low with the re-cooled water temperature being determined by the dry bulb air temperature. The system needs to be designed to exclude formation of dead zones by non-condensable gases and thus eliminate the danger of undercooled condensate or freezing. The design of tube bundles also needs to be robust to allow for periodic high-pressure water cleaning of the external surfaces to maintain efficiency and plant output. However, this method of dry cooling with an ACC avoids the need for large cooling towers, eliminates the vapour plume and greatly reduces the consumption of cooling water. In particular using low noise fans and drives can meet stringent noise restrictions.

In comparison to indirect dry cooling systems, then the ACC provides a greater temperature difference between the condensing steam and the cooling air, and consequently the ACC system will have a relatively smaller heat transfer surface. The indirect dry cooling system, which has two heat transfer processes (i.e. steam condenser and Air-cooled heat exchanger) would need to compensate by either adopting a larger cooling surface and/or by increasing its cooling airflow. The investment costs for an ACC will be smaller than an indirect dry cooling system as the latter will have to include the costs of the cooling water recirculation pumps and surface condenser. On the other hand, the auxiliary power consumption and maintenance requirements for the mechanically forced draught ACC will be significantly greater than the natural draught dry tower.

XII.5.3.2 Natural draught air-cooled condenser (Figure XII.10, Section XII.11)

Although the characteristics of placing a direct air-cooled condenser inside a natural draught tower make it as feasible as a forced draught air-cooled condenser, the disadvantages are that the height of the natural draught tower structure will be larger and so will its investment costs. For example, the cost of the tower itself, the routing of the large steam exhaust ducts to the cooling tower, and the larger heat transfer surface required as the natural air draught may be only half that of a forced air draught tower.

The advantages of this natural draught ACC system would include:

- reduced/no sound emissions
- reduced/no air recirculation due to high tower structure
- no maintenance for fans, drives or circulation water pumps
- no auxiliary power consumption for steam condensation.

XII.5.3.3 Closed recirculating dry cooling towers

(Figure XII.11, Section XII.11)

In dry cooling towers water flows through the cooling elements in a closed system. Waste heat is exclusively transmitted by convection. The lack of heat dissipation through evaporation loss leads to a significant increase of the temperature of the cooling water and thus a low efficiency compared to wet-cooling.

In case of dry cooling two flow arrangements are possible:

- closed circuit cooling with dry-type cooling towers as direct cooling in connection with a surface condenser and
- closed circuit cooling with dry-type cooling tower as direct cooling in connection with injection condenser.

Advantages of dry cooling are as follows:

- no visible plume formation,
- simple set-in and examination of chemical parameters of the circulating cooling water,
- no need to make up water during operation, only replacement of possible leakage losses.

Compared to wet cooling, dry cooling has the following disadvantages:

- considerably higher investment and operation costs,
- larger dimensions of the building,
- stronger influence of the ambient air temperatures (summer/winter) on cooling performance,
- operation in winter requires special ice prevention measures during standstills,
- the tendency to fouling of the cooling elements requires an efficient stationary cleaning device.

XII.5.4 Cooling towers with discharge of cleaned flue gas

(Figure XII.12, Section XII.11)

During the last years the emission of desulphurised flue gas via cooling towers (as an alternative to the emission via chimneys) in fossil-fired plants has proved to be favourable regarding environmental and economical aspects. The effect of the transport of flue gas to higher atmosphere areas is achieved in this case by differences in density between the flue gas/cooling tower plume mixture inside the cooling tower and the relatively cold ambient air, and not by the high temperature of the flue gas itself. Using this method an increase of the efficiency of the power plant is obtained.

Flue gas desulphurisation plants of coal-fired power plants often work according to the principle of wet desulphurisation. Wet cleaning cools down warm flue gases to between 50 °C and 70 °C. For environmentally-compatible and troublefree emission of these cleaned flue gases via a chimney a heating under additional utilisation of energy is necessary. An alternative for reheating is the clean gas emission via a natural draught cooling tower: up to now this principle has been exclusively used for wet cooling. The clean gases are led into the cooling tower above the packing and thus emitted into the atmosphere together with the cooling tower plumes.

The inner side of the cooling tower shell including the upper ring beam must be completely **coated against corrosion**. During the inlet of clean flue gases into the cooling tower, condensate can flow down the cooling tower shell, which is, compared to concrete, heavily aggressive due to its low pH value.

Concrete parts of the internal structure, e.g. the top framing of the fill supporting structure of channel segments and riser heads respectively, must also be coated similar to the inner side of the shell.

Steel parts, e.g. slides or handrails that might get into contact with acid condensate from the plumes must be made out of special stainless steel.

The **clean gas channel** conducts the clean gases from the FGD²⁴ building to the middle of the cooling tower. It can be inserted into the cooling tower at the height of the FGD outlet (high elevation) or right above the internal tower fill (low elevation). The maximum channel diameter is about 8 m.

The clean gas channel should be made out of glass fibre reinforced vinylester or equivalent. To this end, especially chemical-resistant moulding materials on the basis of penacryl resins and, as textile processing, especially acid-resistant fibres out of ECR glass are to be used.

Due to the condensate formation inside the channel, it should have a slight inclination against the cooling tower. For the outlet of the condensate, an outlet facility at the clean gas channel inside the cooling tower is to be provided, leading into the cooling tower basin.

XII.6 Cost comparison between the various types of cooling towers

The cost elements of cooling systems are mainly of three kinds:

- investment costs,
- costs related to energy consumption (i.e. efficiency),
- and maintenance costs.

For power plants, operating costs related to energy have to take into account the financial gain that is linked to the difference in efficiency between different options. Generally for power plants, the comparison of different options is executed through a socio-economic method based on an 'actualised' balance with an 'actualisation' ratio that varies from country to country (e.g. 8% for France, 5% for Germany and Italy, 10% for Portugal). This method is described in reference L. Caudron, "Les réfrigérants atmosphériques industriels", Collection de la Direction des Études et Recherches d'Électricité de France, 1991.

The 'actualised' balance is composed of:

- investment added with indirect charges to technical solutions considered I;
- algebraic 'actualised' expenses (maintenance of equipment) and receipts in operation (production during the estimated life « t_f »);
- « P_i » is the balance of expenses and receipts of the year « i », supposed in the middle of the year.

The balance is represented by the following enumeration with « α » as the actualisation ratio:

$$I + \sum_{i=1}^{i=t_f} P_i / ((1 + \alpha)^{i-1/2})$$

With the expenses counted positively, the criterion of choice between different solutions is the lowest actualised balance.

²⁴ Flue gas desulphurisation.

In the case of mechanical draught cooling towers, one may suppose that the maintenance costs are very similar because they are mainly linked to the maintenance of the fans. By taking into account the first two criteria and by selecting the least expensive solution as the reference, Table XII.3 shows that the wet system is much more economical than the dry system, natural draught more than mechanical draught. From an economic point of view dry systems would be less recommendable as they are more expensive and have a higher influence on the cost of kWh. So dry systems may be recommended only in the case of lack of water.

Table XII.3: Comparison of different types of recirculating cooling systems with a lifetime of 25 years and an actualisation ratio of 8% (study on EDF units of 1300 MWe)

[L. Caudron, "Les réfrigérants atmosphériques industriels", éditions Eyrolles]

Type of refrigeration system	Wet cooling tower		Wet/dry cooling tower	Dry cooling tower	
	Natural draught	Induced draught	Induced draught	Natural draught	Induced draught
Approach K (dry air 11°C/wet air 9°C)	12.5	12.5	13.5	16	17
Nominal condensation pressure (mbar)	63	63	66	82	80
Thermal power (MWth)	2458				
Electrical power Delivered (MWe)	1285	1275	1275	1260	1240
Fan power MW	0	10	12	0	26
Pump power MW	13	13	8	14	13
Cost of refrigerant	1	1.25	2.3	5.7	4.8
Cost of cold end	1	1.1	1.6	3.6	3.1
Difference of cost of kWh/cost of kWh (%)	0	1.0	2.4	8.4	8.9

Table XII.4: Comparison of wet cooling towers and aircooled condenser with a life-time of 20 years and an actualisation ratio of 8% for a combined cycle unit 290 MWth

Type of refrigeration system	Once-through	Wet cooling tower		Air-cooled condenser
		Natural draught	Induced draught	
Approach K (dry air 11°C/wet air 9°C)	/	≈8	≈8	≈29
Nominal condensation pressure (mbar)	34	44	44	74
Thermal power (MWth)	290	290	290	290
Difference of electrical power delivered (MW_e)	+ 0.6	0	0	- 1.8
Fan and pump power (MW)	1.9	1.95	3	5.8
Global difference on electrical power in (MEuro)	-4.7	-2.9	0	12.6
Difference in cost on water consumption (MEuro)	-8.9	-8.9	0	0
Difference in cost of cooling system in (MEuro)	-3.0	1.9	0	8.9
Cost of cooling system	0.82	1.11	1	1.54
Global balance of costs (MEuro)	-16.5	-1.0	0	12.6

The same comparison can be done for combined cycle plants. Table XII.4 shows that dry systems are more expensive again than wet systems, but the difference is smaller than in case of conventional power plants. The difference between mechanical and natural draught is small and is more or less comparable. Wet systems are preferred to dry systems. Maintenance costs, eventual taxes for make-up or blowdown flows of water and costs of chemical products necessary to the treatment of water are not taken into account in this table, which may underestimate the cost of wet systems or overestimate the cost for dry cooling. Thus, dry systems may be recommended depending on the price of water and water treatment for wet systems or taking into account the lifetime of the plant, where a shorter lifetime reduces the differences between dry and wet systems.

An important factor in cost comparisons is the efficiency or rather the loss of efficiency due to cooling with less efficient cooling systems. This loss is measured in the dimensionless energy-temperature factor $\text{kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}$ per degree temperature difference of the cooling water (in K). In the following theoretical example this factor is derived [Paping, pers. comm.].

From the definition that 100 bar steam of 530 °C is equal to 3451 kJ/kg it follows (using Mollier diagram) that:

50 [mbar]	32.7 [°C]	2110 [kJ/kg]
60 [mbar]	35.6 [°C]	2130 [kJ/kg]
70 [mbar]	38.8 [°C]	2150 [kJ/kg]

Above mentioned vacuum pressures and their related condensation temperatures are also related to an average cooling water temperature in Europe of 15 °C together with a increase of 10 °C of the cooling water in the condenser itself.

Including the heat transfer coefficient of the condenser, the condensate will leave it with a total temperature of 30 °C and an inseparable vacuum pressure of about 43 mbar (see Table XII.3 and Table XII.4). Thus, to calculate the energy-temperature factor for increasing cooling influent temperatures the calculation for is started with 50 mbar.

The efficiency is calculated following the Carnot cycle resulting in an efficiency, which is in line with the commonly used 40% for conventional power plants:

$$\begin{aligned} \text{at 50 mbar} &= (3451 - 2110) / (3451 - 4.18 * 32.7) * 100 = 40.4609\% \\ \text{at 60 mbar} &= (3451 - 2130) / (3451 - 4.18 * 35.6) * 100 = 40.0037\% \\ \text{at 70 mbar} &= (3451 - 2150) / (3451 - 4.18 * 38.8) * 100 = 39.5583\% \end{aligned}$$

The minimum efficiency loss expressed per degree temperature difference under ideal (thermodynamic) circumstances:

$$\begin{aligned} \text{efficiency difference between 50 mbar and 60 mbar} &= 4.572\text{‰ per 2.9 K difference} \\ \text{efficiency difference between 60 mbar and 70 mbar} &= 4.454\text{‰ per 3.2 K difference} \\ \text{efficiency difference between 50 mbar and 70 mbar} &= 9.026\text{‰ per 6.1 K difference} \end{aligned}$$

This efficiency loss can be further expressed with respect to the total efficiency and per K:

$$\begin{aligned} 4.572\text{‰} / (2.9 \text{ K} * 0.4) &= 3.9 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ per K difference} \\ 4.45\text{‰} / (3.2 \text{ K} * 0.4) &= 3.5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ per K difference} \\ 9.026 \text{‰} / (6.1 \text{ K} * 0.4) &= 3.7 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}} \text{ per K difference} \end{aligned}$$

From this simplified calculation it appears that for an efficiency of about 40% the loss or gain per degree of temperature difference of the cooling water can be estimated using the factor of $3.5 \text{ kW}_{\text{th}}/\text{MW}_{\text{th}}$ per K.

XII.7 Choice of the treatment of circulating water alternative methods - monitoring

As mentioned previously, problems of corrosion seldom arise in the cooling systems of power plants. The use of corrosion inhibitor products is therefore unnecessary for cooling systems cooled by raw water.

XII.7.1 Anti-scale treatment

With a wet cooling system, the only way of reducing heat discharges into the aquatic-environment consists in the recirculation of the cooling water. This practice results in increasing the concentration factor (Table XII.5). It is often applied for power plants located on **inland waterways and in estuaries**.

This concentration tends to result in the precipitation of calcium salts that are not very soluble: carbonate, sulphate, phosphate. The scale most commonly encountered is calcium carbonate. It settles on the tubes of condensers and in the fill of cooling towers, which leads to a reduction in efficiency. Two prevention techniques are generally used to avoid the precipitation of calcium carbonate in the cooling systems of power plants. One is the lime softening of make up water and the other is the vaccination of circulating water with sulphuric or hydrochloric acid.

Table XII.5: Relationship between the concentration factor, the withdrawn water flowrate and the energy discharged into the receiving waterway (individual example)

Concentration factor	Withdrawn water flowrates (m ³ /h)	Energy discharged into the receiving waterway (%)
1	36000	100
1.2	3600	8.3
1.3	2600	5.5
1.4	2100	4.2
1.5	1800	3.3
2.0	1200	1.7
3.0	900	0.8
4.0	800	0.5
5.0	750	0.4
6.0	720	0.3

Only organic scale inhibitors for which there are ecotoxicological data are used within the limits laid down by regulations. Their use is extremely limited. Indeed, current ecotoxicological data are often insufficient. Furthermore, these substances released into the receiving waterway may disturb the water treatment operations of industries situated downstream of the discharge point.

Coastal-sited power plants are generally cooled by a once-through system. Cooling towers operating on an after cooling basis can be installed in order to reduce the thermal load. This choice will mainly depend on local conditions (tides, mixture, etc.).

On the other hand, operation with sea water recirculation is exceptional. Indeed, high concentration factors may cause the precipitation of a great many salts (calcium carbonate, calcium sulphate, barium sulphate, etc.). Although the formation of calcium carbonate may be avoided by adding acid, the same does not hold true for the other salts which can only be stabilised by organic inhibitors (phosphonates, polyacrylates, copolymers, etc.).

XII.7.2 Anti-fouling treatments (biocides)

A recent review of the experience acquired in EUROPE in methods to reduce biological fouling enables to draw the following conclusions:

Mechanical cleaning of the systems and **water filtration** are the most commonly used processes. They involve the continuous cleaning of the tubes of condensers by foam balls or brushes, manual cleaning, use of trash rakes, filters with meshes of different widths.

Three other physical methods are also regularly used for the anti-fouling treatment of industrial systems. They concern the following:

- maintaining of velocities high enough to avoid the fixation of organic organisms ($v > 2$ m/s), this recommendation is applied to a large extent today;
- temperature increase which consists in raising the temperature of the cooling water beyond 40°C for some dozens of minutes; this technique eliminates the fixed organisms (mussels), but nevertheless requires an appropriate design of the cooling systems;
- non-toxic coatings and paints, which reduce the fixation of the organisms, reinforce the velocity effect and facilitate cleaning; these coatings are nevertheless expensive and must be renewed every 4 to 5 years.

Other techniques are sometimes used, the following in particular:

- dryout;
- installation of specific filters (mussel filters).

The physical methods can be applied both in sea water and soft water.

A non-chemical treatment applied in a few cases is UV.

Chemical treatment can be applied in cases where physical methods are not appropriate or show insufficient results. There are oxidising products, chlorine, monochloramine, ClO_2 and ozone, which can be used as antifouling treatments. Some degradable organic compounds applicable intermittently and non toxic in the receiving environment, might be an alternative to chlorination. Among these, some amine filminducing polymers appear to be promising as anti-corrosion chemicals, but so far intermittent treatment of ferro-sulphate is more efficient.

XII.7.3 Monitoring

Given the flowrates of power plant cooling systems, one cannot conceivably operate them without an advanced monitoring and control system. This reasoning is applicable both for problems concerning scale and biological development.

To avoid **scaling**, the regulation of acid injection into the circulating water is generally subject to the continuous monitoring of physico-chemical parameters such as: alkalinity, calcic hardness, conductivity, temperature at the condenser outlet. A computer uses these various parameters as a basis to calculate a specific scaling index and compares it with the operating instructions. If necessary, the regulator adapts the injection pump flowrate. Finer control methods are also implemented in high-risk sites. They concern in particular the measurement of the critical pH 4 and other scale monitors.

As concerns the follow-up of **biological developments**, many types of sensors exist and are implemented. Among these should be mentioned biomonitors, and electrochemical sensors.

A control of the quality of drainage water is desirable in order to monitor parameters like temperature, oxygen concentration, pH, conductivity etc.

XII.8 Design of the cooling system

As a non-neglecting requirement it should be recognised that the adoption of cooling water systems at a particular site can be the collaboration of many different factors. The most obvious one is the site-specific characteristics.

XII.8.1 Design and energy recovery

In conventional thermal power plants, the thermodynamic cycle imposes the overall efficiency of the facility. The economiser, superheater and reheater optimise the operation of the boiler. The low and high-pressure superheaters raise the temperature of feedwater by recovering part of the energy withdrawn by means of steam extractions. In order to reduce the electrical consumption of the auxiliaries, turbine-driven feedwater pumps are also used, these being also supplied by steam extractions. Combustion air is also heated by air heaters prior to entering the boiler. All of these devices have one objective: **reduce the energy losses of the cycle.**

Thermodynamic laws govern the energy loss in the condenser.

If energy gains can be obtained in the cooling systems, it is mainly at the level of design and the resulting choices that it is possible to do so. Some golden rules may be applied:

- limit the number of pumps,
- avoid mechanical draught cooling towers,
- if cooling tower is needed, prefer wet cooling tower to recovery systems (recuperators),
- if deconcentration flowrates are sufficient, install a hydraulic recovery turbine on the deconcentration blowdown;
- where flowrates must not be constant, use frequency variators on the pumps or fans.

The following conclusions therefore emerge from these observations:

- two sets of pumps are sufficient, one for the supply of the auxiliary cooling system, the other for the main cooling system;
- if once-through cooling is not possible, natural draught wet cooling towers should be preferred to other cooling systems;
- two schemes are therefore conceivable (Figure XII.13 and Figure XII.14 in Section XII.11) and make it possible to eliminate the heat from the auxiliary system via the cooling tower.

XII.8.2 Design and noise reduction measures

The reduction of noise of the cooling systems can be carried out in different ways:

- installation of anti-noise walls around cooling towers,
- modification of the relief of the site (wooded slopes),
- choice of "low noise" fans,
- utilisation of anti-noise panels.

These various solutions generally make it possible to meet stringent noise restrictions.

XII.8.3 Implementation of physical methods

Right from the design stage, it is absolutely necessary to reflect on the possibilities of implementing physical methods, particularly so as to avoid biological developments. It concerns the following in particular:

- guarantee an adequate velocity in all the portions of the system;
- install continuous cleaning systems on all heat exchangers whenever this is technically possible;
- provide for mussel filters on sites at risk;

- design the systems so as to be able to carry out manual cleaning operations under normal operating conditions (alternate heat exchanger operation);
- design the systems so that temperature increase is possible (recirculation with cooling tower in by-pass);
- in natural draught wet cooling towers prefer fill with a suitable surface and/or structure to reduce fouling; periodic cleaning should be optional, e.g. in case of high contents of solids in the used cooling water.

XII.8.4 Modelling and pilot tests

The purpose of **modelling** is to study any physico-chemical impacts and adapt to the facilities so as to reduce these impacts to the greatest extent possible. It is particularly important to study:

- water withdrawals and discharges,
- the visual aspect of the site,
- the evolution of plumes,
- the thermal and chemical impacts on the receiving environment.

The objective of the **pilot loop tests** is to define the optimum treatment of cooling water both with regard to scaling and to any biological developments. To do so, pilot facilities representative of real commercial operating conditions are installed on the site for up to one year. In general those pilot test should last for a period with a minimum length which makes it possible to integrate the variations of the quality of the cooling water due to seasonal differences. This also serves to assess the opportunity of some choices on a representative scale (examples: choice of cooling tower fill, choice of alloys, etc.).

XII.8.5 Choice of the cooling system

As can be seen in the examination of the previous analysis, the choice of the type of cooling system essentially depends on local site-specific conditions. It is therefore extremely difficult and may not be appropriate to offer a unique recommendation. The decision-making logic diagram shown in (Figure XII.15, Section XII.11) gives an idea of all the conceivable cases involved.

From the energy standpoint, wet cooling (once-through cooling if necessary with wet cooling tower) is by far the most economical solution combined with the ecological advantage of saving energy and avoiding flue gas emissions. Whether it is carried out using the once-through technique or via a circulating system with wet cooling tower, the energy balances are favourable to this solution.

Of course, such wet cooling can only be envisaged if the receiving waterway is able to accommodate it. Within the scope of the sustainable management of water resources, it is absolutely essential that this point has to be examined carefully, particularly by taking into account future developments. A long-term modelling, integrating statistical data, is a necessary tool for estimation and assessment of the environmental impacts. It is in the basis of this essential approach that the choice of the cooling mode, concentration factor and any treatments must be made.

XII.9 Conclusions

A BAT approach for the cooling systems of **new** thermal power plants requires a series of reflection points:

1. the need to carry out prior studies concerning site-conditions;
2. the choice of corrosion-resistant materials for the heat exchange surface of condensers and cooling towers;
3. the implementation of local protection (paints, cathodic protection, etc.);
4. the reduction of energy consumers (fans, pumps);
5. the installation of anti-noise systems (walls, panels, modification of the site-relief, etc.) or the choice of solutions resulting in lower emissions (low noise fans);
6. the optimisation of the use of treatment reagents and the setting up of (bio)monitors and chemical monitoring and control devices;
7. the study of systems so as to be able to carry out temperature increase operations;
8. the design of water intakes to limit the drawing in of living organisms;
9. a control of the quality of water discharges by the drain (temperature, oxygen, etc.).

Points 3, 4, 5, 6 and 9 are also relevant for **existing** power stations as they concern the way a plant is operated and maintained. The other issues relate to the site assessment, which in for an existing installation is a given fact. With respect to those points, the result of an evaluation for an existing installation may lead to a considerable change in the design of an existing cooling system, which generally is expensive and likely to be not cost effective. In those situations the depreciation time of the installation (heat exchanger, intake structure), will affect any possible change resulting from a site assessment.

From the experience no single solution seems to have emerged. Each case is a specific one and depends, for example, on the cycle of the power plant. In the case of units with recirculating systems, the choice of the water treatment will depend on the concentration factor selected, maximum temperatures and the quality of the water withdrawn. The same holds true for the fight against biological developments. Although macroorganisms can generally be eliminated by thermal shocks, this solution cannot be applied to eliminate biofilm.

XII.10 Literature

- B. Vincent, "Exploitation et maintenance de la source froide", Revue Générale Nucléaire, n° 3, 247-257, mai/juin 1986.
- R. Gras et J. Jacquet "Problèmes d'environnement liés à la source froide des centrales thermiques", École d'Été de mécanique des fluides, 353-393, 6-10 octobre 1975.
- H.A. Jenner, C.J.L. Taylor, M. Van Donk, M. Khalanski, "Chlorination By-products in Chlorinated Cooling Water of some European Coastal Power Stations", Marine Environmental Research, vol. 43, n°4, pp. 279-283, 1997.
- R. Ambrogi, "Environmental Impact of Biocidal anti-fouling Treatment by Chlorine Dioxide". Proceedings of the First European Symposium on Chlorine Dioxide. Collana ambiente, vol. 17, pp. 119-132, Rome, 1996.
- L. Duvivier, "Etude des divers procédés de lutte contre l'entartrage des circuits de réfrigération des centrales électriques", Travail de Fin d'études, Université Catholique de Louvain, Facultés des Sciences Appliquées, juin 1988.
- G. Gutner, "Aéroréfrigérants secs et mixtes", École d'Été de mécanique des fluides, 60-69, 6-10 October 1975.
- Proceeding: Cooling Tower and Advanced Cooling Systems Conference, EPRI TR-104867, February 1995.
- L. Duvivier, "Concentration et conditionnement des eaux de surface intérieures dans les circuits de refroidissement atmosphériques des grandes centrales thermiques", 36^{èmes} Journées internationales du CEBEDEAU, 205-234, Liege, 25-27 mai 1983.
- Deleval, Duvivier, Hosdain, "Lutte contre l'entartrage des circuits de réfrigération des centrales électriques", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium-International Association for Hydraulic Research, Institut von Karman, 20-23 septembre 1994.
- L. Duvivier, "Considérations générales relatives à l'entartrage des circuits de réfrigération industriels", Proceedings Journées Information Eaux, Vol. 1, 311-3111, 18-20 septembre 1996.
- H.A. Jenner, J.P.M. Mommen, "Driehoeksmosselen en aangroeiproblemen", H₂O, 18^{de} jaargang, nr. 1, pp. 2-6, 1985
- Guide de l'environnement non radioactif - Protocole de chloration massive des réfrigérants, EDF-SPT, Département Sécurité - Radioprotection - Environnement, juillet 1984.
- Aprosi, Bidard, Nepveu de Villemarceau, "Expérience d'exploitation des réfrigérants des centrales françaises: hydrobiologie - chimie aquatique", Revue Generale Nucléaire, n° 5, 425-429, septembre/octobre 1986.
- Rook, "Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters", Water Treatment and Examination, 23 (part 2), 234, 1974.
- Bellar, Lichtenberg, Kroner, "The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Waters", JAWWA, 66, 73, December 1974.
- Amy et al., "Evaluation of THM Precursor Contributions from Agricultural Drains", JAWWA, 57-64, January 1990.

-
- G. Asplund, A. Grimvall, "Organohalogenes in Nature - More widespread than previously assumed", *Environmental Science and Technology*, 25, pp. 1346-13450, 1991.
 - L. Duvivier, "Formation et élimination des organo-halogénés lors de la désinfection des eaux", Thèse de Doctorat en Sciences Appliquées, Université Catholique de Louvain, juin 1993.
 - C.T. Jafvert, R.L. Valentine, "Reaction Scheme for the Chlorination of Ammoniacal Water", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 26, n° 3, 1992.
 - Bilello, Singley, "Removing Trihalomethanes by Packed Column and Diffused Aeration", *JAWWA*, 62-71, February 1986.
 - Munz, Roberts, "Air-Water Phase Equilibria of Volatile Organic Solutes", *JAWWA*, 62-69, May 1987.
 - Isaac, Morris, "Rates of Transfer of Active Chlorine between Nitrogenous Substances", *Water Chlorination - Environ. Impact and Health Effects*, Vol. 3, 1980.
 - Weil, Morris, "Kinetics Studies on the Chloramines. The Rates of Formation of Monochloramine, N-chloromethylamine and N-chlorodimethylamine", *Jour. Am. Chem. Soc.*, Vol. 71, 1979.
 - 4 S.A. Hubbs et al., "Use of Chlorine Dioxide and Chloramines as alternate Disinfectants at Louisville", *Proceedings AWWA Seminar, AWWA Conference*, pp. 51-60, Atlanta, 15 June 1980.
 - Neden et al., "Comparing Chlorination and Chloramination for Controlling Bacterial Regrowth", *JAWWA*, 80-88, July 1992.
 - "Centrale de CHOOZ B1 B2-Examen des Salissures biologiques- Rapport de synthèse", *Rapport LABORELEC CO3-800-95-005F/LDU/RVM*, 22/03/05.
 - "CHOOZ B - Essais sur poste pilote. Conditionnement des eaux de réfrigération", *Rapport LABORELEC CO3/06578 - 1*, 15/01/1991.
 - "Eaux de réfrigération: Centrale de Seraing-Résultats des essais en station pilote", *Rapport Laborelec SER/ER/LD-CO3*, 04/11/92.
 - "Eaux de réfrigération: Centrale de Drogenbos-Résultats des essais en station pilote", *Rapport Laborelec DROG/ER/LD-CO3*, novembre 91.
 - L.C. Neale, "Cooling Problems of Thermal Power Plants - Physical Model Studies", *École d'Été de mécanique des fluides*, 159-180, 6-10 October 1975.
 - J.P. Benque, "Modèles mathématiques des rejets thermiques", *École d'Été de mécanique des fluides*, 184-200, 6-10 octobre 1975.
 - J. Smitz, "Pégase-Planification et gestion de l'assainissement des eaux", *Ministère de la Région Wallonne, Rapport de Synthèse*, 1991.
 - Ernst, Winkler, "Flow Patterns of Cooling Tower Plumes in the near atmosphere Results from a mathematical model", *9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium - International Association for Hydraulic Research, Institut von Karman*, 20-23 September 1994.
 - , "Cycle Chemistry Guidelines for Fossil Plants: All Volatile Treatment", *EPRI, TR-105041*, April 1996.

- Mortensen, Conley, "Film Fill Fouling in Counterflow Cooling Towers: Mechanism and Design", Cooling Tower Institute, Paper TP94-05, Houston, February 13-16, 1994.
- Montjoie, Noble, Mirsky, "Research of Fouling Film", Cooling Tower Institute, New Orleans, February 17-19, 1993.
- Duvivier, van Damme, Bolsée, "Le choix des corps d'échange des tours de réfrigération et leur influence sur les phénomènes d'entartrage par le carbonate de calcium", Proceedings Journées Information Eaux, Vol. 1, 371-3711, 18-10 septembre 1996.
- Dedieu, "Etude expérimentale de l'entartrage des corps d'échange de réfrigérants industriels", Thèse de doctorat INSA Toulouse, 05/06/97.
- J.P. Fesson, "Le primage et la séparation dans les réfrigérants", École d'Été de mécanique des fluides, 202-215, 6-10 octobre 1975.
- G. Ribier, "Optimisation dans le calcul thermique et la détermination d'un réfrigérant atmosphérique à tirage naturel"; École d'Été de mécanique des fluides, 217-229, 6-10 octobre 1975.
- Manoha, Lepage, Pechon, "Le Modèle TELEMAC-3D pour les écoulements tridimensionnels: de nouvelles perspectives pour les études d'environnement", Hydroécologie Appliquée, Tome 4, Vol. 1, 13-20, 1992.
- Nagel, "New Developments in Air-Cooled Steam Condensers and Dry cooling Towers", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium - International Association for Hydraulic Research, Institut von Karman, 20-23 September 1994.
- van der Spek, "Advanced Low Noise Cooling Fan", 9th Cooling Tower and Spraying Pond Symposium - International Association for Hydraulic Research, Institut von Karman, 20-23 September 1994.
- Kosten, Wyndrum, Wet, Dry and Hybrid Systems - A Comparison of the Thermal Performance", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems, St Petersburg, August 3, 1994.
- Burns, Nicholson, Annett, Alexander, "The Impacts of Retrofitting Cooling Towers at a Large Power Station", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems, St Petersburg, August 3, 1994.
- Lindahl, Jameson, "Plume Abatement and Water Conservation with the Wet/Dry cooling Tower", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems, St Petersburg, August 3, 1994.
- Gill et al. "A Mechanistic Approach to the Development of Chemical Solutions for Fouling of Cooling Tower Film Fills", EPRI - Conference on Cooling Towers and Advanced Cooling Systems, St Petersburg, August 3, 1994.
- J.F. Commaille, "Perturbations apportées par le rejet de produits tartrifuges dans les rivières sur les traitements physico-chimiques ultérieurs de ces eaux", Thèse de doctorat, INSA Toulouse, 25 octobre 1982.
- L. Duvivier, "Elimination des tartrifuges avant rejet. Conséquences industrielles", Tribune du Cebedeau, n° 487-488, 37, 247-252, 1984.
- "Zebra Mussel Monitoring and Control Guide", EPRI TR-101782, December 1992.

-
- Leyen et al., "Mitigation of Macrofouling: A Comparative Study of Ozone and on Organic Filminducing Polymer", 7th International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference, New Orleans, January 28-31, 1997.
 - Duvivier et al., "Do we need Chlorine for Water Treatment?", Proceedings Power-Gen '96 Europe, Vol. 1, 757-770, June 96.
 - Duvivier et al., "Fighting Zebra Mussel Fouling with Ozone", EPRI-Service Water System Reliability Improvement Seminar, Daytona Beach, June 25-27, 1996.
 - K. D'Hondt, "On-line Analyse van de "Kritische pH", Applitek, Vergadering Scheikunde, Laborelec, 28/04/93.
 - Lin et al., "Surveillance de la menace d'entartrage du circuit de refroidissement d'une centrale nucléaire par un capteur électrochimique automatique", Proceedings Journées Information Eaux, Vol. 1, 331-3316, 18-20 septembre 1996.
 - G.J. Licina, "Monitoring Corrosion and Biofilm Formation in the Emergency Service Water System at Susquehanna", EPRI-Service Water System Reliability Improvement Seminar, Daytona Beach, June 25-27, 1996.
 - L. Caudron, "Les réfrigérants atmosphériques industriels", Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, 1991.
 - Y. Coeffe, P-M. Clique, B. Manoha, "Thermal Impact Studies for French Coastal Nuclear Sites", 18th ICCE. Cape town, pp 2342-2356, 1982.
 - M. Darras, J. Montfort, J.F. Parent, "Ouvrages de prise et de rejet d'eau, conception et réalisation. A. The Dilution of Heated Discharges of Power Plants. B. Seashore Power Stations and Protection of the Marine Environment", Rapport EDF DER HE/ 42/85.18, 1985.
 - F. Bordet, "Conception des ouvrages d'eau des centrales nucléaires littorales", Rapport EDF DE E-3011, 1983.
 - B. Manoha, "Three-dimensional numeric Modelling of Thermal impact for Gravelines Nuclear Power Plant", 23rd IAHR Congres. Ottawa, 1989.
 - A. Gilbert, R. Gras, D. Roul, "Numeric Computation of Natural River Temperatures", International Conference on Water Quality Modelling in the Inland Natural Environment. Bornemouth England, paper M1, pp. 457-472, 10-13 June 1986.
 - A.W.H. Tumpenny, T.E. Langford, R.J. Aston, "Power Stations and Fish", CEGB Research, pp. 27-39, April 1985.
 - F. Travade, "Aspiration d'organismes aux prises d'eau des centrales", Revue générale nucléaire, n°1, pp. 59-62, 1987.
 - EDF International, "Cordemais Coal-Fired Power Station. Units 4 and 5. Environmental Impact Study", 1987.
 - J.W. Whitehouse, M. Khalanski, M. Saroglia, "Marine Macrofouling Control Experience in the UK with an overview of European Practices", Proceedings of the Symposium on Condenser Macrofouling Control Technologies, Hyannis, Mass. EPRI report CS 3343, pp. 17.1-17.16, Dec., 1983.

- J.W. Whitehouse, M. Khalanski, M. Saroglia, H.A. Jenner, "The Control of Biofouling in Marine and Estuarine Power Stations", Joint report of CEGB, EDF, ENEL and KEMA, 48 pp., 1985.
- M. Khalanski, G. Aprosi, F. Travade, "Biofouling Control in Power Station Circuits. Overview of Electricité de France's experience", Condenser Biofouling Control Symposium; the State of the Art, EPRI Meeting, Lake Buena Vista, Florida, 1985.
- M. Khalanski et Ph. Lutz, "La chloration de l'eau de réfrigération", Revue Générale Nucléaire, n°1, pp. 52-58, 1987.
- NCASI, "Naturally occurring Organohalogen Compounds - A Survey", Technical Bulletin, n°629, 1992.
- H. Palm, R. Lammi, "Fate of Pulp Mill Organochlorines in the Gulf of Bothnia Sediments", Environmental Science and Technology, 29, pp. 1722-1727, 1995.
- H. Kankaanpää, J. Tossari, "Background Levels of EOX and AOX in Sediments of the Gulf of Finland. Molecular Weight Distribution of EOX in Sediments", Chemosphere, 28, pp. 99-116, 1994.
- 3 G. Asplund, "The Origin of Organohalogenes found in the Environment", Linköping Studies in Arts and Science, n° 77, Linköping University, Sweden, 1992.
- Ph. Gosse, M. Khalanski, "La modelisation numerique appliquee a l'évaluation d'impact hydrobiologique", Revue Generale Nucleaire, n° 1, pp. 46-51, 1987.
- M.J. Saleçon, J.M. Thébault, "Modélisation d'écosystème lacustre" Masson, ISBN 2-225-85627-3, 1997.
- G. Aprosi, C. Nepveu de Villemarceau, "French operational Experience of fouling Problems (Algae, Bryozoa) in cooling Towers", 6th IAHR Cooling Tower Workshop, Pisa, Oct. 4-7, 1988.
- J.C. Moretteau, M. Khalanski, "Settling and Growth of *D. polymorpha* in raw Water Circuits of the Cattenom Nuclear Power Plant (Moselle, France)", Proceedings: Fourth International Mussel Conference, Madison, EPRI Report, March 1994.
- M. Khalanski; "Zebra Mussel and other invasive Species in cooling Water Circuits of French Power Stations on Rivers", Seventh International Zebra Mussel and Aquatic Nuisance Species Conference, New-Orleans, 28-31 Jan. 1997.
- H.A. Jenner, J. Whitehouse, C. Taylor, M. Khalanski, "Cooling Water Management in European Power Stations", to be published in Hydroécologie Appliquée.
- B. Comby, "Un écologiste pour le nucléaire", La compagnie du livre, ISBN 2-84155-035-4, 1994.
- VGB-Richtlinie für die Planung von Kühlturmanlagen, R 135 P, 1997.
- VGB-Richtlinie „Empfehlung für den Winterbetrieb von Kraftwerks-Naßkühltürmen“, R 129 P, 1988
- VGB-Richtlinie „Einsatz von Holz im Kühlturbau“, R 611 U, 1996
- DIN 1947: Wärmetechnische Abnahmemessungen an Naßkühltürmen.

- VGB-Richtlinie: "BTR Bautechnik bei Kühltürmen", R 610 U, 1997.
- VGB-"Kühlwasser-Richtlinie", R 455 P, 1990.
- VGB-Merkblatt "Aufbereitung von Betriebswasser und Kühlturm-Zusatzwasser durch Entcarbonisierung bzw. Flockung und Entcarbonisierung", M 403 G, 1992.
- VGB-Fachbuch: Bautechnik in Wärmekraftwerken, B 009, 1993.
- Tesche, W.; Planerische Berücksichtigung von Rezirkulation bei Zellenkühltürmen in Reihenanordnung. VGB-TB 110, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen (1996).
- VDI-Wärmeatlas: Berechnung von Rückkühlwerken.
- Held: Kühlwasser-Verfahrenstechnik und chemische Methoden für die Kühlwasserbehandlung in Industrie und Kraftwerken, Vulkan-Verlag, Essen (1994).
- DIN EN 45 531: Bestellrichtlinien Turbinenhilfseinrichtungen, Trockenkühlturm.
- DIN EN 45 532: Bestellrichtlinien Turbinenhilfseinrichtungen, Naßkühlturm.
- VDI 3734 B12: Emissionswerte technischer Schallquellen; Rückkühlanlagen; Kühltürme, 1990.
- Abwärme-Auswirkungen, Verminderung, Nutzen. Bericht 82-3 der Abwärmekommission 1982.
- Auswirkungen von Kühltürmen. Bericht 82-1 der Abwärmekommission, 1982.
- Ernst, Wurz: Naturzug-Naßkühlturm des Kernkraftwerks Philippsburg (Block 1). Untersuchungen des Betriebsverhaltens der Emissionen und der Schwadenausbreitung. Fortschritt-Bericht R. 15, Nr. 25 der VDI-Zeitschriften, 1983.
- Ernst Schnabel: Naturzug-Naßkühlturm des Kernkraftwerkes Philippsburg (Block 1). Ergebnisse der Schwadenausbreitungsrechnungen. Fortschritt-Berichte R. 15 Nr. 30 der VDI-Zeitschriften, 1984.
- Baer et al.: Thermodynamische Untersuchungen am Naturzug-Naßkühlturm des Kraftwerks Neurath und Modelle für das Betriebsverhalten und die Schwadenausbreitung, Fortschritt-Berichte R. 15 Nr. 7 der VDI-Zeitschriften.

XII.11 Illustrations

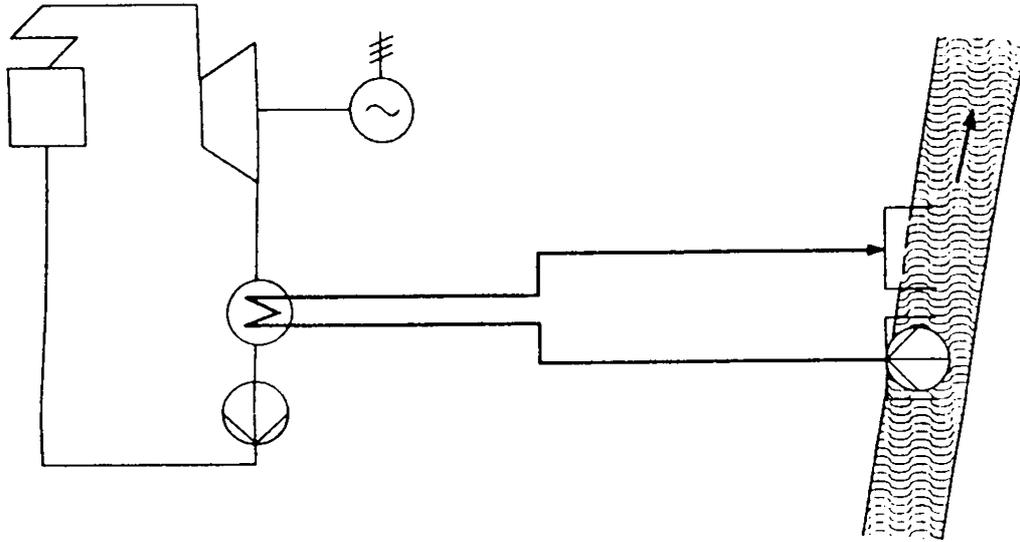


Figure XII.1: Once-through system

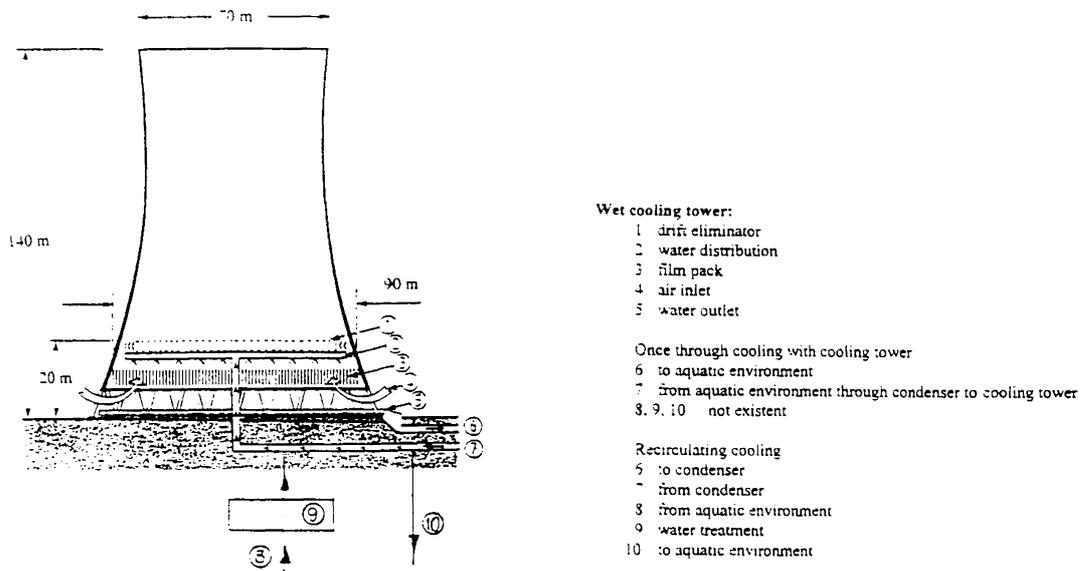


Figure XII.2: Wet cooling tower

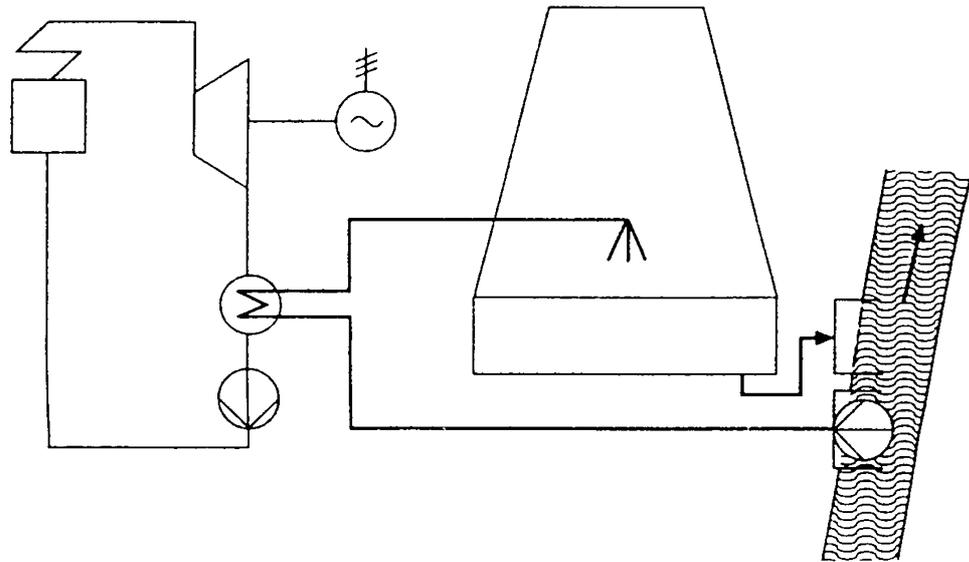


Figure XII.3: Once - through cooling with cooling tower

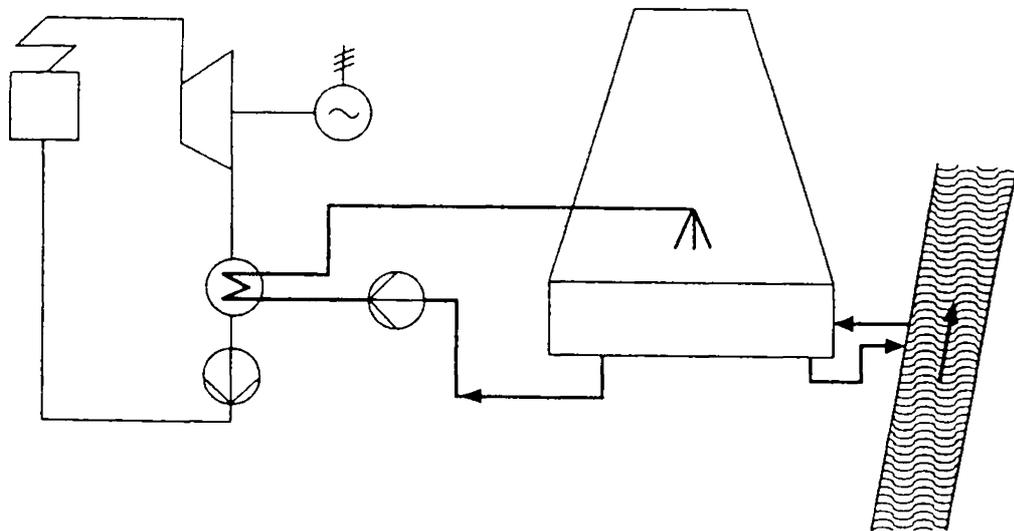


Figure XII.4: Recirculating cooling

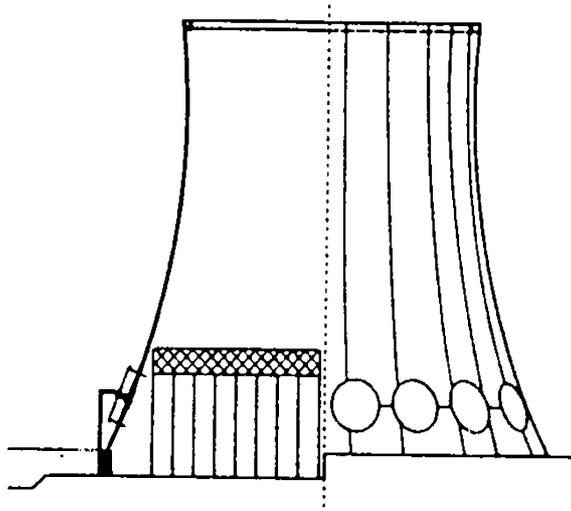


Figure XII.5: Mechanical draught cooling tower (pressure fans)

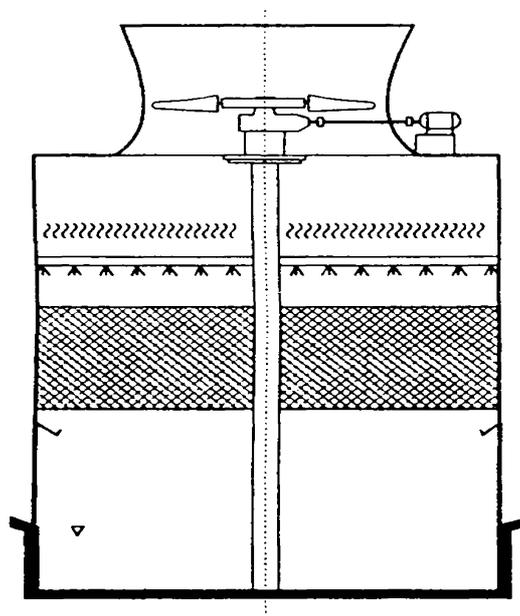


Figure XII.6: Mechanical draught cooling tower (suction fans, cell construction)

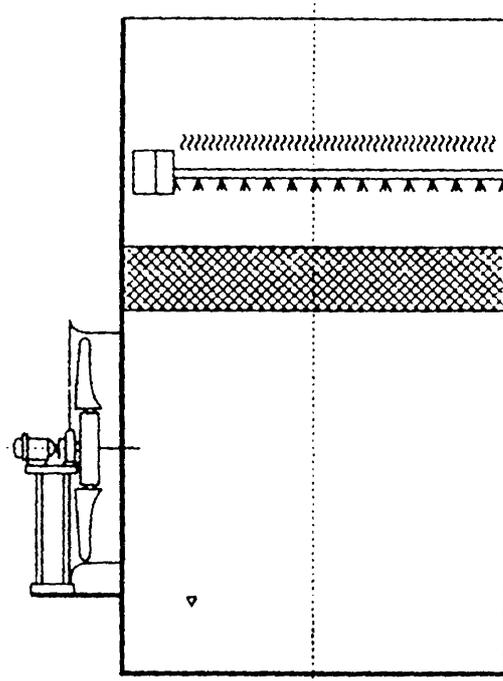


Figure XII.7: Mechanical draught cooling tower (pressure fans, cell construction)

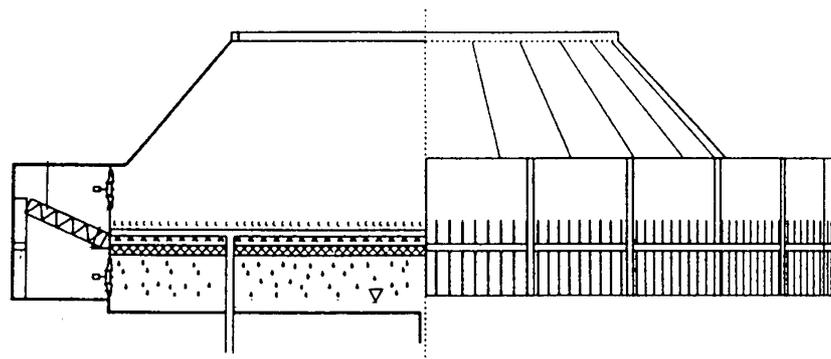


Figure XII.8: Hybrid cooling tower

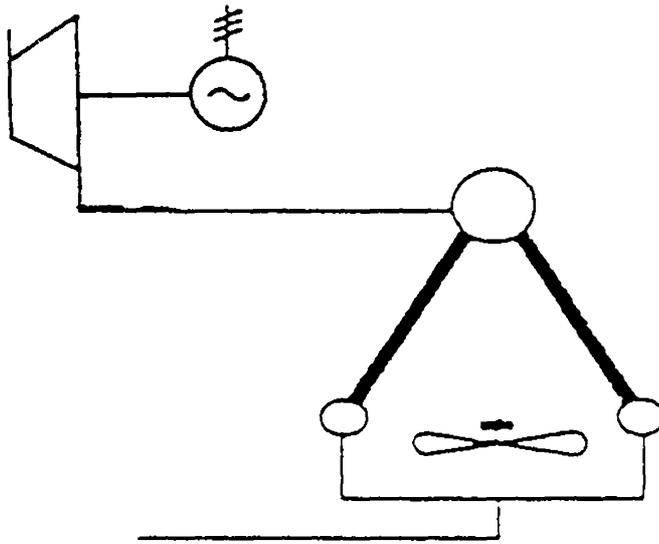


Figure XII.9: Forced draught air-cooled condenser

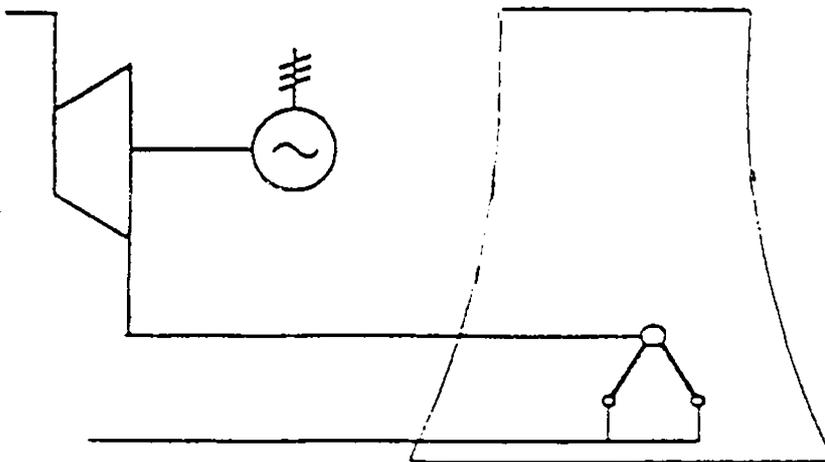


Figure XII.10: Natural draught air-cooled condenser

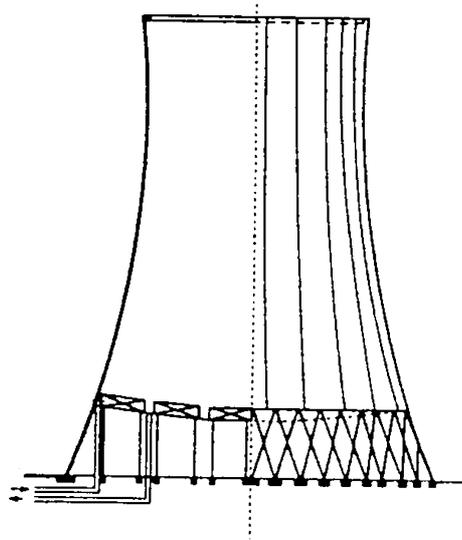


Figure XII.11: Closed recirculating indirect dry cooling tower

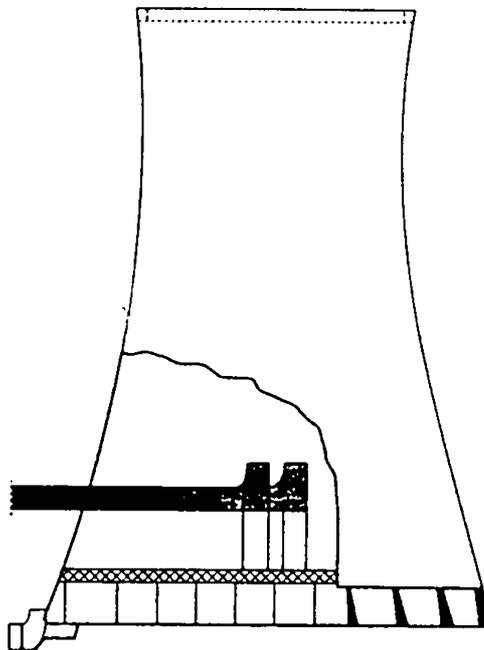


Figure XII.12: Cooling tower with discharge of cleaned flue gas

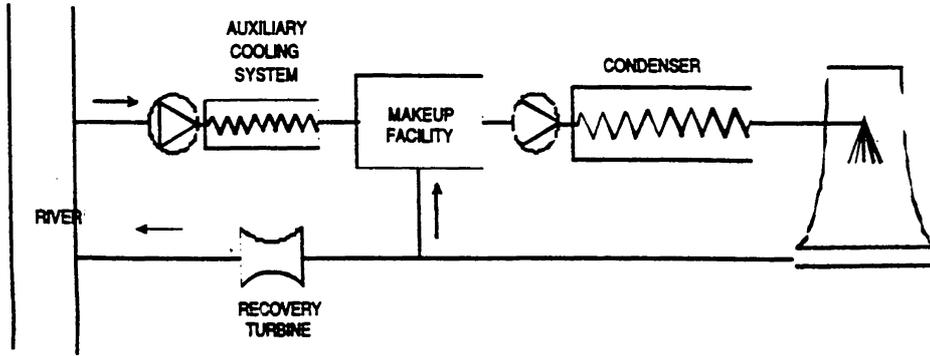


Figure XII.13: Cooling system with fixed concentration factor

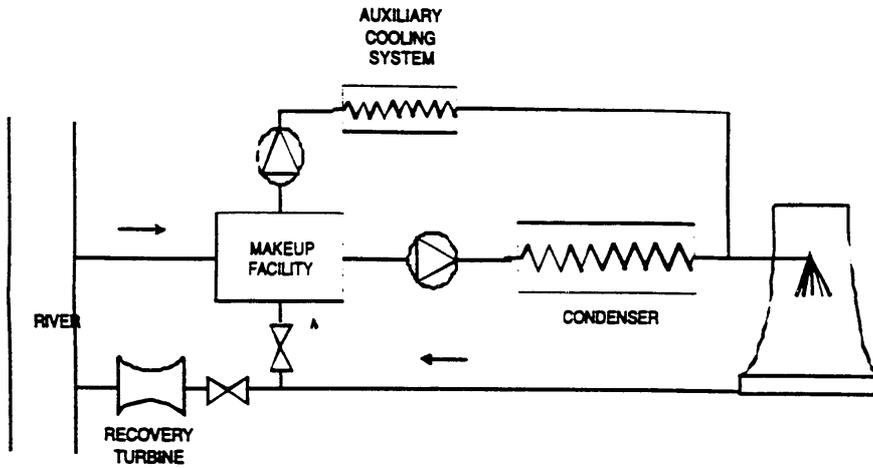


Figure XII.14: Cooling system with sliding concentration factor

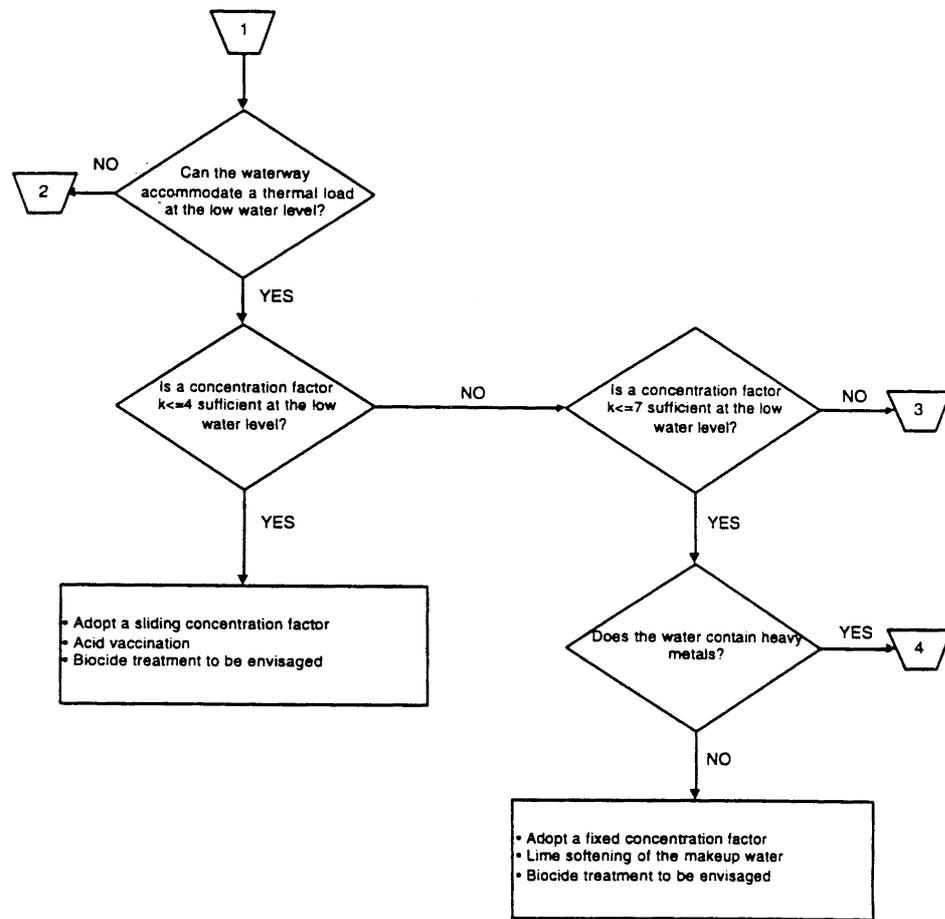


Figure XII.15: Decision-making logic diagram for the choice of the cooling system