
ZUSAMMENFASSUNG

Das vorliegende Referenzdokument über die 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 Problematik 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 Umwelanforderungen so abzuwägen sind, dass eine Durchsetzung 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 auf Umgebungsniveau zu senken.

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 Wahl des Kühlsystems soll im Rahmen dieses Konzepts lediglich untersucht werden, bei welchen Elementen ein Zusammenhang mit der Umweltleistung des Kühlsystems besteht, hingegen soll jedoch bei den angewandten Kühlsystemen keine Wertung in positiver wie in negativer Hinsicht getroffen 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. Integriertes 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 Umweltverträglichkeit 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 gesetzliche Auflagen stehen möglicherweise fest und lassen nur geringfügige Änderungen zu. Das allgemeine BVT-Konzept im vorliegenden Dokument kann jedoch als langfristiges Ziel betrachtet werden, das sich mit den Erneuerungszyklen 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 Kostenwirksamkeit sehr wichtig. BVT bedeutet in erster Linie, dass der energetische Gesamtwirkungsgrad des Industrie- oder Fertigungsprozesses zu beachten ist, bevor Maßnahmen zur Optimierung des Kühlsystems ergriffen werden. Zur Steigerung des Gesamtwirkungsgrads 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 Aggregaten innerhalb des gekühlten Industrie- oder Fertigungsprozesses sowie Verknüpfungen mit angrenzenden Prozessen außerhalb dieses Prozesses. In Industriegebieten besteht ein Trend zur Wärmerückgewinnung, wenn Industriestandorte untereinander oder mit Fernheizungs- bzw. Gewächshausanlagen gekoppelt sind. Wo keine weitere Rückgewinnung und Wiederverwendung dieser Wärme möglich ist, muss sie 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, auch bei der Inbetriebnahme und Abschaltung. Die erforderliche Mindestprozess Temperatur 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 Kühl- und Ableitungszwecke, durch den vorhandenen Platz für Bauten und durch die Emissionsempfindlichkeit der Umgebung definiert. Je nach dem Prozesskühlbedarf und der erforderlichen Kühlleistung kann die Wahl des Standorts für eine neue Anlage von großer Bedeutung sein (z. B. große 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 Trockenkugeltemperaturen 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 Trockenkugeltemperaturen.

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 Geräte zur Senkung des Wartungsaufwands und zur Vereinfachung des Betriebs des Kühlsystems und der Erfüllung von Umweltauforderungen liegt. Neben der Freisetzung von Wärme in die Umgebung können noch andere Umweltbelastungen auftreten, wie z. B. der Ausstoß von Wirkstoffen, 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, eine größere Umweltverträglichkeit des industriellen Kühlsystems erreicht 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 Geräte 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 Auslegung und nach 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 Berührung. Bei geschlossenen Systemen zirkuliert das Kühl- oder Prozessmedium in Rohren oder Rohrschlangen und hat keine Direktberührung mit der Umgebung.

An Orten, wo genügend Kühlwasser und aufnehmendes Oberflächenwasser zur Verfügung steht, werden für Anlagen hoher Leistung meist Durchlaufsysteme verwendet. Ist keine zuverlässige Wasserquelle 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 Kühlfläche und somit die Kühlwirkung vergrößert wird. In der Industrie finden geschlossene Nasskühlsysteme bei kleineren Wärmeleistungen vielfältige Anwendung. 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 Mindesttemperatur des Prozessmediums ⁵⁾ (°C)	Leistung des industriellen Prozesses (MW _{th})
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 Trockenkugeltemperaturen. 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-/Feuchtkugeltemperatur 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 Prozesstemperatur 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 Feuchtkugeltemperaturen abhängig. Je höher diese Temperaturen sind, desto schwieriger wird die Abkühlung auf die niedrigen Endtemperaturen des Prozesses.

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, die auch als Kühlgrenzabstand bezeichnet wird.

Technisch lässt sich der Kühlgrenzabstand sehr klein auslegen, aber die Kosten sind umgekehrt proportional zur Größe. 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. Zusätzliche Wärmetauscher kommen bei indirekten Kühlsystemen zur Anwendung, wo ein Extrakühlkreis 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.

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

Kühlsystem	Angewandte Kühlgrenzabstände (K)	Leistung des Energieerzeugungsprozesses (MW _{th})
Offene Durchlaufsysteme	13-20 (Terminaldifferenz 3-5)	< 2700
Offener Nasskühlturm	7-15	< 2700
Offener Hybridkühlturm	15-20	< 2500
Trockenluftgekühler Verflüssiger	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 Prozesstemperaturanstieg (ΔK) führen kann und in kW_e/MW_{th}/K angegeben wird. Der spezifische direkte Energieverbrauch eines Kühlsystems wird in kW_e/MW_{th} ausgedrückt und bezieht sich auf die Energiemenge, die von allen energieverbrauchenden Geräten (Pumpen, Ventilatoren) des Kühlsystems für jedes abgeführte MW_{th} verbraucht wird.

Zu den Maßnahmen zur Senkung des spezifischen indirekten Energieverbrauchs zählen:

- 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 bewirkt beispielsweise 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 Nasskühlsysteme eine wichtige Rolle, aber auch als aufnehmende Umgebung für die Kühlwasserableitung. 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 zweckmäßige Positionierung von Zulauf und Ablauf und durch Einschätzung von Gezeiten- oder Flussmündungsströmungen so kontrollieren, dass eine angemessene Vermischung und advective Verteilung des Warmwassers gewährleistet ist.

Der Wasserverbrauch schwankt zwischen $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$ bei einem offenen Hybridkühlturm und bis zu $86 \text{ m}^3/\text{h}/\text{MW}_{\text{th}}$ 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 auch Chemikalienemissionen und das Abfallaufkommen reduziert werden können. Der Wasserverbrauch von Umlaufsystemen kann durch Erhöhung der Zykluszahl, durch Verbesserung der Zusatzwasserqualität oder durch optimierte Nutzung von Abwasserquellen gesenkt werden, die innerhalb oder außerhalb des Standorts verfügbar sind. 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 Mitreißens 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 Oberflächenwasser reduzieren.

- **Wärmeemissionen in das Oberflächenwasser**

Wie schon erwähnt, können Wärmeemissionen in das Oberflächenwasser eine Umweltbelastung für das aufnehmende Oberflächenwasser darstellen. Einflussfaktoren sind z. B. die verfügbare Kühlkapazität des aufnehmenden Oberflächenwassers, die tatsächliche Temperatur und der ökologische Status des Oberflächenwassers. In warmen Sommerzeiten können Wärmeemissionen infolge kühlwasserbedingter Wärmeableitungen in das Oberflächenwasser zu einer Überschreitung der Umweltqualitätsnorm für Temperatur führen. Für zwei ökologische Systeme (Lachsgewässer und Karpfengewässer) 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 Mischzonengrenze infolge der Wärmeableitung in

das Gewässer. Das Ausmaß der Umweltbelastung richtet sich nach der Menge und Temperatur der in das Oberflächenwasser abgeleiteten Wärme im Verhältnis zur Größe des aufnehmenden Oberflächenwassers. 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 Lachswanderung 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 das Oberflächenwasser erfolgen durch:

- eingesetzte Kühlwasserzusätze und deren Reaktionspartner,
- Substanzen im Flugstaub, der durch einen Kühlturm eindringt,
- Korrosionsprodukte, die durch Korrosion von Teilen des Kühlsystems entstehen, und
- Entweichen 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 kompliziert, und es kann eine breite Palette von Chemikalien zum Einsatz kommen. Infolgedessen weisen die Emissionswerte beim Ausblasen 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 Abflusswasser, 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 so 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, Kupfernickel und verschiedene Edelstahlsorten verwendet, aber zunehmend wird auch Titan (Ti) eingesetzt. Zum Oberflächenschutz werden außerdem Überzüge und Anstriche aufgebracht.

• Einsatz von Bioziden

Bei offenen Durchlaufsystemen erfolgt die Behandlung gegen Makrobewuchs vorwiegend mit oxidierenden Bioziden. Die Aufwandmenge kann als jährlich eingesetzter oxidativer Wirkstoff in Chlor-Äquivalenten je MW_{th} ausgedrückt werden und richtet sich nach der Stärke des Bewuchses im Wärmetauscher oder in dessen Nähe. Der Einsatz von Halogenen als oxidativer Wirkstoff in Durchlaufsystemen führt hauptsächlich durch die Bildung halogener Nebenprodukte zu Umweltbelastungen.

Bei offenen Umlaufsystemen kommt eine Wasservorbehandlung gegen Kesselsteinbildung, Korrosion und Mikrobewuchs zur Anwendung. Bei Umlaufnasskühlsystemen mit verhältnismäßig kleineren Wasservolumen 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 Oberflächenwasser. 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 Umweltaspekt der Kühlung angesehen. Im Falle des Entweichens von Produkten kann es zwar zu einer Umweltverschmutzung kommen, was sich aber durch ordnungsgemäße Wartung 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 horizontverzerrende Wirkung auftritt oder die Gefahr besteht, dass die Fahne den Boden erreicht.

• Lärm

Bei großen Naturzugkühltürmen und bei allen mechanischen Kühlsystemen sind Geräuschemissionen ein örtliches Problem. Die ungedämpften Schallleistungspegel schwanken zwischen 70 [dB(A)] bei Naturzugkühltürmen und ca. 120 [dB(A)] bei mechanischen Kühltürmen. Diese Schwankungen 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 die bakterielle Verunreinigung (z. B. Legionärskrankheit) von Nasskühlsystemen.

Zur Vermeidung von Leckagen wie auch von bakteriellen Verunreinigungen dienen Maßnahmen wie vorbeugende Wartung 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 *Legionellae pneumophila (Lp)* wird ein geeignetes Wasserbehandlungsprogramm empfohlen. Für *Lp* konnten keine in koloniebildenden Einheiten [KBE pro Liter] angegebenen Konzentrationsgrenzwerte ermittelt werden, bei deren Unterschreitung keine Gefährdung eintritt. Dieses Risiko ist besonders bei Wartungsarbeiten zu beachten.

- **Rückstände beim Kühlsystembetrieb**

Über Rückstände oder Abfälle liegen wenig Erkenntnisse vor. Als Abfall gilt anfallender Schlamm von der Kühlwasservorbehandlung oder aus dem Kühlturmbecken. Dieser wird in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung unterschiedlich behandelt und entsorgt. Die 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 der 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 könnten. 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 von industriellen Kühlsystemen 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 sowie durch Einsatz energiesparender Geräte erreicht. In Fällen, wo der zu 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 die 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 Mitreißens oder zur Reduzierung von Schäden im Falle des Mitreißens sind viele verschiedene Techniken entwickelt worden. Die Erfolge waren unterschiedlich und standortspezifisch. Eindeutige Erkenntnisse über 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 Zulaufs 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 Oberflächenwasser,
2. Einsatz von korrosionsbeständigerem Material für Kühlgeräte,
3. Vorbeugung 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 in Form einer sachgerechten 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 Verflüssigern).

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 Umweltbelastung durch eine Prozesssubstanz, der erforderlichen Kühlkonfiguration und den Überwachungserfordernissen hergestellt. Bei erhöhten potentiellen Gefahren für die Umwelt im Falle einer Freisetzung führt das Konzept zu einer verbesserten Korrosionshemmung, zu einer Auslegung für indirekte Kühlung und zu einem steigenden 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 Austritt verschiedene Kühlströme gemischt werden, besteht die BVT in einer Wechselimpuls-Chlorung, mit der sogar

noch weitere freie Oxidationsmittelkonzentrationen im Abflusswasser vermindert werden können. Im Allgemeinen reicht bei Durchlaufsystemen eine diskontinuierliche Behandlung zur Bewuchsvorbeugung aus. Je nach Bewuchsart und Wassertemperatur (über 10-12 °C) kann auch eine kontinuierliche Behandlung mit niedriger Dosis erforderlich sein.

Bei Meereswasser schwanken die BVT-Konzentrationen freier Restoxidationsmittel (FRO) im Abflusswasser im Zusammenhang mit dieser Behandlungspraxis 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], und der 24-Stunden-Mittelwert beträgt 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 Behandlungswirkstoffe und deren Einsatzmengen und Einsatzkonzentrationen 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 Sonderkategorie. 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 bereits bekannter Konzepte, 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). 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.

- **Lärminderung**

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

Sekundärmaßnahmen am Eintritt und Austritt mechanischer Kühltürme bewirken Lärminderungen von mindestens 15 [dB(A)] oder darüber. Hierzu muss angemerkt werden, dass Lärminderung, 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 Rotationsmaschinen durch geräuscharme Vorrichtungen,
- Leckagevorbeugung durch Überwachung der Wärmetauscherrohre,

-
- Biofiltration 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 Zustimmung 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 Luftemissionen.