



Auswertungsbericht

Komplexbildner

Internationale
Kommission zum
Schutz des Rheins

Commission
Internationale
pour la Protection
du Rhin

Internationale
Commissie ter
Bescherming
van de Rijn

Bericht Nr. 196



Impressum

Herausgeberin:

Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, D 56068 Koblenz
Postfach 20 02 53, D 56002 Koblenz
Telefon +49-(0)261-94252-0, Fax +49-(0)261-94252-52
E-mail: sekretariat@iksr.de
www.iksr.org

ISBN 3-941994-06-9978-3-941994-06-05

© IKSr-CIPR-ICBR 2012

Im Rahmen der Strategie für die Verringerung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Siedlungs- und Industrieabwässern werden für 10 Stoffgruppen Auswertungsberichte ausgearbeitet, deren Ziel es ist, die wissenschaftlichen und technischen Fakten prägnant zusammenzufassen und bestehende Wissenslücken aufzuzeigen. Die Auswertungsberichte stellen ebenfalls ein breites Spektrum möglicher Maßnahmen von der Quelle (z.B. Zulassung von Stoffen, Einschränkung der Anwendung) bis hin zu technischen Maßnahmen an zentralen Kläranlagen (z.B. Einführung einer weiteren Klärstufe) vor. Im Kapitel Fazit der Auswertungsberichte werden die effizientesten Maßnahmen, die im Rahmen einer Gesamtstrategie der IKSR weiter geprüft werden sollen aufgeführt. Diese Maßnahmen sind noch keine IKSR-Empfehlungen an die Mitgliedstaaten. Die IKSR wird die in diesem Kapitel gelisteten Maßnahmen im Rahmen eines Syntheseberichtes der Gesamtheit der Maßnahmen synoptisch zusammen führen, um eventuelle Synergieeffekte der Maßnahmen (Wirkung der Maßnahmen auf verschiedene Stoffgruppen) bei der abschließenden Bewertung berücksichtigen zu können. Auf der Basis der abschließenden Bewertung der Gesamtheit der Maßnahmen wird sie Maßnahmenempfehlungen für die Mitgliedsstaaten festlegen.

1. Einleitung

Bei den Komplexbildnern handelt es sich um verbreitete Industriechemikalien, die in zahlreichen verschiedenen Bereichen Anwendung finden. Komplexbildner werden in Oberflächengewässern regelmäßig in Konzentrationen von ein bis zweistelligen Mikrogramm pro Liter ($\mu\text{g/l}$) nachgewiesen. Die aufgrund ihrer Verbreitung und schlechter biologischer Abbaubarkeit betrachteten Indikatorsubstanzen (EDTA, DTPA) werden synthetisch hergestellt und gehören zu der Stoffgruppe der Aminopolycarbonsäuren. Diese Indikatorsubstanzen werden im Hauptstrom des Rheins und in seinen Nebengewässern in vergleichsweise hohen Konzentrationen nachgewiesen. Es sind starke Komplexbildner, die insbesondere die Ionen von Schwermetallen binden. In der Anwendung verhindern sie die unerwünschten Reaktionen (z. B. Bildung schwerlöslicher Niederschläge von Erdalkali- oder Schwermetallsalzen) und bewirken die Stabilität von schwermetallhaltigen Lösungen. Dazu müssen sie sich gegenüber den Bestandteilen der Formulierung inert verhalten, d.h. sie müssen gegenüber Säuren, Alkalien, oxidierenden und reduzierenden Substanzen sowie gegenüber thermischen Einflüssen möglichst stabil sein. [1, 2]

Im Durchschnitt wurden von 2005 bis 2009 in Deutschland 3.700 Tonnen EDTA pro Jahr abgesetzt; bei DTPA waren es 1.600 Tonnen pro Jahr [3]. Die relativen Verbrauchsmengen in den anderen Rheinanliegerstaaten liegen in der gleichen Größenordnung. Es ist davon auszugehen, dass die größten Mengen in Gewerbe und Industrien zum Einsatz kommen. Daneben werden Produkte mit Komplexbildnern auch in Haushalten eingesetzt. Genaue Zahlen zu der Verteilung der Einsatzmengen liegen nicht vor. Im Jahr 2009 wurde für das deutsche Rheineinzugsgebiet die Verwendung von EDTA in folgenden Einsatzbereichen abgeschätzt [3]: 10-15% in der Fotoindustrie, 1-2% in der Textilindustrie und der weit aus größte Teil mit 80 – 85 % entfiel auf die Kategorie Sonstiges, die auch den Einsatz in der Holzverarbeitung/Papierindustrie, Metallverarbeitung und Galvanotechnik [4], Reinigungsmitteln, Kosmetikartikeln, Arzneimitteln [4], Lebensmittelzusatzstoffe [4], in der Wasserversorgung bzw. Abwasserbehandlung und in Mikronährstoffen umfasst.

Eine Abnahme der EDTA-Emissionen von 44% für das deutsche Rheineinzugsgebiet konnte im Rahmen der „Erklärung zur Reduktion der Gewässerbelastung durch EDTA“ von 1991 bis 2002 erreicht werden [5]. EDTA wird seit Jahren zunehmend durch andere Komplexbildner substituiert (z.B. DTPA, NTA, Phosphonate etc.). Seit 2004 konnte z.B. die EDTA-Emission eines Großbetriebes der chemischen Industrie durch den Einsatz einer UV-Oxidationsanlage nochmals um mehr als 50% gesenkt werden [6].

Zum Umweltverhalten liegen umfangreiche Studien vor. Die toxikologischen und ökologischen Eigenschaften von EDTA wurden u. A. von den Behörden der Europäischen Gemeinschaft ausführlich bewertet [7]. Als weitere Dokumente sind der Report des niederländischen Institutes für Gesundheit und Umwelt [8] sowie ein Hintergrunddokument der WHO (**W**orld **H**ealth **O**rganization) [4] zu nennen, in dem auch Trinkwasserleitwerte für EDTA abgeleitet wurden [4], [9].

Im Gegensatz dazu sind gemäß dem deutschen Umweltbundesamt (UBA) [2] die Mechanismen der vielen möglichen Wechselwirkungen, an denen Komplexbildner beteiligt sind, nur teilweise geklärt oder bekannt. Zum Teil gibt es auch sehr unterschiedliche Bewertungen. Nach Auffassung des UBA ist eine Quantifizierung der Effekte und somit eine Risikoabschätzung mit großen Unsicherheiten belastet.

2. Problemanalyse

Auffällig sind Komplexbildner aus Sicht der Trinkwasserversorgung, da sie mit den herkömmlichen Aufbereitungsverfahren nicht entfernt werden können.

Die Messdaten der Trinkwasserwerke entlang der Ruhr ergeben in der Tat, dass EDTA und DTPA einigermaßen regelmäßig im Trinkwasser in Konzentrationen von einigen $\mu\text{g/l}$ vorkommen. Dennoch liegen diese Konzentrationen im Trinkwasser deutlich unter den aus toxikologischer Sicht bei lebenslanger Exposition zulässigen Konzentrationen (aufgrund der geringen direkten Toxizität) (vgl. Leitwert der WHO für EDTA: $600 \mu\text{g/l}$). Die IAWR/AWWR (Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet / Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke an der Ruhr) und der DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) wenden für synthetische Stoffe, beispielsweise Komplexbildner, für die Trinkwassergewinnung einen anzustrebenden Wert von $5 \mu\text{g/l}$ für jeden Einzelstoff an. Dieser anzustrebende Wert wird sowohl im Rhein, wie auch in den Nebenflüssen häufig überschritten.

Dagegen liegen die ökotoxikologischen Wirkungsschwellen um ein Vielfaches über den in Gewässern feststellbaren Konzentrationen. Im Rahmen der EU-Risikobewertung wurde ein PNEC (Predicted No-Effect Concentration) von $2.200 \mu\text{g/l}$ für EDTA abgeleitet.

Die Konzentrationen der Komplexbildner nehmen, mit Ausnahme von DTPA, im Längsverlauf des Rheines zu, die höchsten Konzentrationen werden im Niederrhein und Deltarhein und in mehreren Rhein Nebenflüssen gemessen

Die EDTA-Mittelwerte 2007 – 2008 liegen im Rhein ab Karlsruhe zwischen $3,6$ und $5,4 \mu\text{g/l}$. Maximal wurden im deutschen Rheinabschnitt in diesem Zeitraum Konzentrationen zwischen 7 und $10 \mu\text{g/l}$ gemessen, in den Niederlanden bis $17 \mu\text{g/l}$ (Kampen). In zahlreichen Nebenflüssen, insbesondere in Neckar, Main, Nahe, Mosel, Ruhr und Emscher, lagen in 2007 und 2008 die Mittelwerte und Maxima der EDTA-Konzentrationen über denen im Hauptstrom.

Auch DTPA wird im Rhein und seinen Nebenflüssen nachgewiesen. In den Jahren 2007 bis 2008 lagen rund 50% der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der Maximalwert im Rhein wurde im Messzeitraum 2001-2008 an der deutsch-niederländischen Grenze (Lobith) mit $18 \mu\text{g/l}$ gemessen. Im Main bei Bischofsheim wurde DTPA in allen Proben nachgewiesen, das Maximum des Zeitraums 2007 – 2008 betrug $13 \mu\text{g/l}$, in der Ruhr lag die maximale Konzentration bei $21,6 \mu\text{g/l}$. Stromabwärts ist im Rhein im Gegenteil zu EDTA keine Zunahme festzustellen.

Gleichwohl haben eventuelle negative Umweltauswirkungen von EDTA und Komplexbildnern im Allgemeinen wenig mit dieser stoffspezifischen Toxizität, sondern viel mehr mit den komplexierenden Eigenschaften der Komplexbildner zu tun, die in Wechselwirkung mit anderen Stoffen (insbesondere Schwermetallen, Härtebildnern und Mikronährstoffen) treten. Wenn beispielsweise Schwermetalle im Abwasser Komplexe mit EDTA gebildet haben, werden sie in den Kläranlagen nicht durch Fällung und Anlagerung an Klärschlamm eliminiert, sondern gelangen in erhöhtem Maß in das Oberflächenwasser. Welche Metallkomplexe genau vorkommen, ist von lokalen Gegebenheiten abhängig.

Folgende Aussagen können in Bezug auf die Stoffeigenschaften und die Wasserqualität gemacht werden:

EDTA ist nach OECD-Methoden (Organisation for Economic Co-operation and Development) nicht leicht biologisch abbaubar [7]. Bei pH-Werten von mehr als 8 ist ein Abbau jedoch möglich. Unter den Bedingungen des europäischen Chemikalienrechts kann EDTA daher als „enhanced biodegradable“ eingestuft werden [10, 11]. Da die pH-Werte in kommunalen Kläranlagen in der Regel jedoch kleiner als 8,5 sind, wird EDTA dort nur geringfügig eliminiert und gelangt in die Gewässer. Während einer Bodenpassage sind EDTA und DTPA mikrobiologisch langsam abbaubar [12]. In den Abwasserbehandlungsanlagen einzelner Betriebe, beispielsweise in der Milchwirtschaft,

kann ein hoher Eliminationsgrad erreicht werden [13]. Das ist bei der Formulierung denkbarer emissionsreduzierender Maßnahmen wichtig.

Neben den möglichen nachteiligen Einwirkungen auf den Naturhaushalt der Gewässer im Mittel- und Unterlauf des Rheins (sowie an einigen Nebengewässern) kann die Produktion von Trinkwasser erschwert werden.

3. Analyse der Eintragspfade

Der größte Anteil der Einträge von Komplexbildnern stammt aus Industrie und Gewerbe. Aus den Einsatzmengen lässt sich ableiten, dass ein maßgeblicher Anteil auch aus Haushalten emittiert wird. Relevante (bedeutende) Branchen sind neben der chemischen Industrie die Papier- und Fotoindustrie, Getränkeabfüller und –hersteller, Textilindustrie, Milchwirtschaft und Galvanik. Durch Vermeidungs- und Ersatzmaßnahmen bzw. dezentralen Behandlungsmaßnahmen ist es seit Mitte der 90er Jahren bereits zu einem merklichen Rückgang der Einträge von Komplexbildnern gekommen. Die digitale Technik im Fotobereich hat ebenfalls zu einem Rückgang der eingesetzten Komplexbildner (jedenfalls EDTA) beigetragen.

Um jedoch einen besseren Überblick über die Anwendungsbereiche und –mengen zur Durchführung von Risikobewertungen und Stoffbilanzierungen zu erhalten, ist eine systematische Erhebung notwendig.

Untersuchungen der Einleitungen auf Komplexbildner in Nordrhein Westfalen (NRW) von 2007 bis 2010 ergaben, dass für EDTA das Verhältnis der Frachten aus kommunalen Kläranlagen zu industriellen Direkteinleitungen in den Jahren 2007 bis 2010 40 zu 60 betrug. DTPA stammt nahezu vollständig aus industriellen Einleitungen. Im Ruhrgütebericht 2009 wurde eine spezifische EDTA-Fracht (Medianwert) von 4,7 Milligramm pro Einwohner und Tag ($\text{mg}/\text{E} \cdot \text{d}$) für die kommunalen Kläranlagen des Ruhrverbandes ermittelt [14].

Die einwohnerspezifische EDTA-Belastung einer Kläranlage im Ruhreinzugsgebiet mit Einleitungen aus der Papierindustrie lag bei $550 \text{ mg}/(\text{E} \cdot \text{d})$, Einwohnerequivalente pro Tag) und somit um etwa den Faktor 100 über dem Median aller Kläranlagen [14]. Die eingeleiteten (emittierten) Tagesfrachten aus diesem einzelnen einleitenden Betrieb überstiegen in einer Studie von Februar 2005 bis Mai 2007 die Emissionen (Abgabe von Stoffen an die Umwelt) der kommunalen Kläranlagen um ein Vielfaches (EDTA), für die Summe der untersuchten Komplexbildner (EDTA, DTPA) sogar um mehr als das Zehnfache [15]. Das Beispiel zeigt, dass einzelne Emittenten aus Industrie und Gewerbe eine hohe Relevanz haben können und der Eintrag in Kläranlagen regional bzw. lokal sehr unterschiedlich sein kann.

4. Mögliche Maßnahmen

Zur Minimierung (Verringerung) der Einträge der Komplexbildner können emissionsreduzierende Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen getroffen werden:

- Maßnahmen an der Quelle;
- Information der Öffentlichkeit und der Fachöffentlichkeit;
- Behandlung von Abwasserteilströmen;
- Maßnahmen bei Industriekläranlagen;
- Maßnahmen bei kommunalen Kläranlagen;
- Anpassung von Messprogrammen.

Im Folgenden werden die potenziellen Maßnahmen näher präzisiert.

Maßnahmen an der Quelle

- Senkung der Gewässerbelastungen durch:
 - Entwicklung, Erprobung und Einsatz von biologisch abbaubaren, in Kläranlagen leichter eliminierbaren Ersatzstoffen;

- erweiterte Umweltverträglichkeitsprüfungen bei der Zulassung von Komplexbildnern;
- Optimierung der Produktionsprozesse bzw. Beibehaltung bereits optimierter Prozesse; insbesondere Optimierung der betrieblichen Abläufe zur Verringerung der eingesetzten Mengen (optimierte Dosierung);
- Verzicht auf Reinigungsmittel und Kosmetika, die schlecht abbaubare oder ökotoxische Komplexbildner enthalten (seitens Produkthanwender; Konsumenten, Handel);
- Aufklärung über Produktwahl und sachgerechte Entsorgung.

Information der Öffentlichkeit

Die Öffentlichkeit und die Fachöffentlichkeit (Handel und Produkthanwender, z.B. Getränkeabfüller und –hersteller, Reinigungs- und Abwasserbetriebe, Haushalte, Landwirtschaft) sollen über die Gewässer- und Trinkwasserrelevanz der Inhaltsstoffe aufgeklärt und über mögliche Alternativen informiert werden. In den entsprechenden BAT (**B**est **A**vailable **T**echnology, Beste verfügbare Technik) Referenzdokumenten der Textil-, Papier-, der Getränke- und Milchindustrie sowie der Oberflächenbehandlung sind bereits Passagen über Komplexbildner, sowie deren Reduktion, deren biologischer oder chemischer Abbau bzw. deren Elimination aus dem Abwasser (Umkehrosiose, Fällung) enthalten [16, 17, 18, 19]. Die Inhalte dieser technischen Dokumente und weitere Informationen sollten über geeignete Instrumente weiter verbreitet werden. Alternativen können z.B. die sparsame Anwendung, der Verzicht oder die Umstellung auf umweltfreundlichere Alternativprodukte bzw. auf umweltfreundliche (z.B. physikalische oder biologische) Reinigungs-/Bleich- oder Behandlungsverfahren sein. Für die Produkte aus der Papier-, Foto- und Textilindustrie wäre ebenfalls eine spezielle Produktkennzeichnung denkbar.

Dezentrale Maßnahmen (Behandlung von Abwasserteilströmen)

Einzelne Industrie- oder Gewerbebetriebe können erheblich zu den über die Kläranlagen in die Oberflächengewässer eingetragenen Komplexbildner-Frachten beitragen. Um diese zu minimieren, können folgende Maßnahmen in Betracht gezogen werden:

- Optimierung der betrieblichen Abläufe zur Vermeidung bzw. Verringerung des entstehenden Abwassers (z.B. Kreislaufführung);
- weitergehende Reinigungsverfahren zur Entfernung von schwer abbaubaren Komplexbildnern (wie EDTA und DTPA) und ggf. weiteren umweltrelevanten Abwasserinhaltsstoffen, dadurch ggf. Mehrfachwirkung erzielbar. Ob eine wirksame Abwasserbehandlung möglich ist und die Wahl des Verfahrens [17] sind von pH-Wert, Temperatur, Konzentration der Komplexbildner, sonstigen Abwasserinhaltsstoffen und von den BAT abhängig.

Zentrale Maßnahmen bei kommunalen Kläranlagen

Der Einsatz weitergehender Reinigungsverfahren zur Entfernung von Mikroverunreinigungen (Ozonung, Aktivkohle) erhöht die Eliminationsleistung der Kläranlagen insgesamt. Mit einem Ausbau von 191 ausgewählten Kläranlagen im Rheineinzugsgebiet mit den erwähnten weitergehenden Aufbereitungsverfahren könnten die Einträge bestimmter Mikroverunreinigungen (z.B. Humanarzneistoffe) in den Rhein um mindestens 30 % reduziert werden.

Für EDTA wird die dadurch erzielbare Wirkung für den Rhein jedoch nur auf höchstens 10% geschätzt, bei einer Kombination aus Aktivkohle und Ozonung im günstigsten Fall etwas mehr. Für DTPA wäre der Effekt ebenfalls gering, weil DTPA nur zu einem geringen Anteil aus Kommunalabwässern eingetragen wird. Die Eliminationsleistung für Komplexbildner durch weitergehende Reinigungsverfahren ist somit deutlich geringer als für viele andere Mikroverunreinigungen.

Eine zentrale Behandlung zur EDTA/DTPA-Entfernung kann letztlich vor diesem Hintergrund nicht sinnvoll sein.

Anpassung von Messprogrammen und Bewertungssystemen

- Zur Beurteilung der Auswirkungen auf die Gewässerökosysteme (unter Berücksichtigung möglicher Wechselwirkungen mit anderen Stoffen, Artenverschiebungen) sowie zum Schutz von Trinkwasserressourcen sollten auf geeigneter institutioneller Ebene verbindliche Qualitätskriterien abgeleitet werden;
- Begrenzung der Einleitungen von relevanten Direkt- und Indirekteinleitern: Festlegung von Abwasserorientierungs- oder Grenzwerten für Komplexbildner;
- Bei trinkwasserrelevanten Stoffen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen: Berücksichtigung der Anforderungen für die Trinkwassernutzung bei der Gewässer- und Abwasserüberwachung sowie im Abwasserbescheid;

5. Fazit

Zusammenfassung der Maßnahmen, die für die weitere Ausarbeitung und Effizienzprüfung in Frage kommen.

- **Maßnahmen an der Quelle** zur Reduktion der Belastung der Gewässer durch Aufklärung über sachgerechte Anwendung und Entsorgung; Verwendung von umweltverträglicheren Rezepturen; Ersatz durch umweltverträglichere Wirkstoffe
- **Information der Öffentlichkeit** und von Fachkreisen über die fachgerechte Anwendung und Entsorgung sowie über die Umweltrelevanz und die Auswirkungen auf die Trinkwasserproduktion im Rheineinzugsgebiet.
- **Dezentrale Maßnahmen:** Minimierung von Stoffeinträgen durch organisatorische Maßnahmen; Optimierung abwasserrelevanter Prozesse sowie Einsatz weitergehender Reinigungsverfahren bei Teilströmen und einzuleitendem Abwasser einzelner Industriebetriebe. Diese Maßnahmen sind in der Regel zu bevorzugen, da ein großer Anteil der Fracht durch eine beschränkte Anzahl an Industrie- und Gewerbebetriebe eingetragen wird.
- **Zentrale Maßnahmen:** Für eine wirksame Minderung der Gewässer- und Trinkwasserbelastungen durch Komplexbildner sind zentrale Maßnahmen an kommunalen Kläranlagen wenig effizient, da sie nur eine geringe Wirkung zeigen. Maßnahmen an der Quelle sind wie dezentrale Maßnahmen daher zu bevorzugen.

Literatur:

- [1]: Internetseite Wikipedia/EDTA
<http://de.wikipedia.org/wiki/Ethylendiamintetraessigs%C3%A4ure>
- [2]: Internetseite UBA
<http://www.umweltbundesamt.de/chemikalien/waschmittel/informationen.htm#EDTA>
- [3]: CEFIC (European chemical industry Council) 2010
- [4]: „Edetic acid (EDTA) in Drinking-water“ Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, 2003
- [5]: UBA (2005): Komplexbildner-Fachgespräch.
<http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/stoffhaushalt/sseido/komplex-bildner.htm>
- [6]: Wirsing F., Sörensen M. (2003): Wasserwirtschaft Wassertechnik Vol. 11-12 2004, 54-55.
- [7]: EU Risk Assessment Reports „Edetic acid (EDTA)“, Band 49, 2004 und „Tetrasodiummethylenediaminetetraacetate (Na₄EDTA)“, Band 51, 2004
- [8]: RIVM-Report Nr. 6017822028 aus 2009
- [9]: Dieter, H.H.: Anhang D 2.1.4.1 Übersicht: Die neuen Trinkwasserleitwerte der WHO für chemische Stoffe und ihre praktische Bedeutung. In: Bundesgesundheitsamt, Bundesgesundheitsblatt, 36. Jahrgang, Mai 1993, Nummer 5, Sonderdruck
- [10]: REACH-Dossier Edetic acid, CAS 60-00-4,
[http://apps.echa.europa.eu/registered/data/dossiers/DISS-97dbb36b-db93-7210-e044-00144f67d031/DISS-97dbb36b-db93-7210-e044-00144f67d031_DISS-97dbb36b-db93-7210-e044-00144f67d031.html]
- [11]: ECHA Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Version 1.1, Kapitel R.7.9
[http://guidance.echa.europa.eu/docs/guidance_document/information_requirements_r7b_en.pdf?vers=20_08_08]
- [12]: Stumpf, M., Ternes, T.A., Schuppert, B., Haberer, K., Hoffmann, P., Ortner, H. M. Sorption und Abbau von NTA, EDTA und DTPA während der Bodenpassage. Vom Wasser 86, 157-171 (1996).
- [13]: Staats, N., H. Krop en P. van Broekhuizen: Complexvormers in de industriële reiniging. Een vergelijking op milieuhygiënische, gezondheidskundige en technische aspecten. Chemiewinkel (2001).
- [14]: AWWR und Ruhrverband (2010): Ruhrgütebericht 2009.
- [15]: RWTH/ISA Aachen & IWW Mülheim (2008): Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen. Gütebetrachtungen.
http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/abschlussbericht_ruhr.pdf
- [16]: Referenzdokument über die besten verfügbaren Techniken in der Textilindustrie mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung Juli 2003.
(<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>)
- [17]: Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken in der Zellstoff- und Papierindustrie mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung, o. Jahresangabe. (<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>)

- [18]: Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken in der Nahrungsmittel-, Getränke- und Milchindustrie mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung Dezember 2005. (<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>)
- [19]: Merkblatt zu den besten verfügbaren Techniken für die Oberflächenbehandlung von Metallen und Kunststoffen mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung September 2005. (<http://www.bvt.umweltbundesamt.de/>)
- [20]: Denecke, E. u. C. K. Schmidt: Langjährige Untersuchungen zur Calcitlösekapazität und Spurenstoffentfernung bei der aeroben Uferfiltration am Niederrhein in Wittlaer – in: ARW Jahresbericht 2008 (2009)