

Kurzfassung des Berichtes

zum Vorhaben:

„Literatúrauswertung zum Vorkommen gefährlicher Stoffe im
Abwasser und in Gewässern“

AZ IV 9 – 042 059

für das



Ministerium für
Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Pavel Ivashechkin

Projektleiter:

Aachen, den 27.01.2005

ISA RWTH Aachen

.....

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Pinnekamp

Inhalt

1.	Einleitung	3
2.	Vorkommen gefährlicher Stoffe in Kläranlagenabläufen, Gewässern und Klärschlamm	4
2.1	Umfang der Studie	4
2.2	Ergebnisse der Studie	4
3.	Verbesserung der Elimination gefährlicher Stoffe aus kommunalem Abwasser.....	8
3.1	Optimierung des Reinigungsprozesses.....	8
3.2	Nachschtung weiterer Behandlungsstufen	10
4.	Zusammenfassung	13
5.	Literatur	14

1. Einleitung

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) definiert europaweit verbindliche Qualitätsvorgaben für Oberflächengewässer und das Grundwasser. Primäre Zielsetzung ist, bis zum Jahr 2015 einen guten ökologischen Zustand zu erreichen. Vor diesem Hintergrund spielt das so genannte „*phasing out*“ gefährlicher Stoffe eine bedeutende Rolle. Als gefährliche Stoffe werden im Sinne der WRRL Art. 2 die Stoffe oder Gruppen verstanden, die toxisch, persistent und bioakkumulierbar sind und weitere, die in ähnlichem Maße Anlass zur Besorgnis geben. Einen maßgeblichen Eintragspfad für solche Stoffe stellt das kommunale Abwasser dar.

Ziel der vorliegenden Literaturstudie ist es, die inzwischen verfügbaren Daten über das Vorkommen von gefährlichen Stoffen in Kläranlagenabläufen, Gewässern und Klärschlämmen zusammenzustellen und bewertend zu vergleichen. Außerdem werden Möglichkeiten für eine verbesserte Elimination gefährlicher Stoffe in der kommunalen Abwasserreinigung aufgezeigt.

Im Einzelnen werden folgende Arbeitspunkte bearbeitet:

1. Recherche und Zusammenstellung durchgeführter Untersuchungen.
2. Zusammenstellung der im Ablauf von Kläranlagen gefundenen gefährlichen Stoffe, ihrer angetroffenen Konzentrationen sowie ihre Eliminationsraten.
3. Feststellung der Herkunft dieser Stoffe im Abwasser.
4. Darstellung von Qualitätsnormen, Qualitätszielen sowie PNEC-Werten (predicted no effect concentration).
5. Auswertung vorliegender Untersuchungen im Gewässer, die Hinweise zur Relevanz der Abwassereinleitungen geben.
6. Auswertung vorliegender Untersuchungen im Klärschlamm, die Hinweise zur Relevanz der gefährlichen Stoffe für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung geben.
7. Zusammenfassende Bewertung unter Berücksichtigung der Fragen, ob es sich um kritische Stoffe handelt, ob weitere Untersuchungen notwendig sind oder ob diese Stoffe mit verfügbaren, dem Stand der Technik entsprechenden Verfahren in kommunalen Kläranlagen eliminierbar sind.

2. Vorkommen gefährlicher Stoffe in Kläranlagenabläufen, Gewässern und Klärschlamm

2.1 Umfang der Studie

Die Literaturstudie greift auf die Ergebnisse von Messungen zurück, die in Bayern, Bremen, Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Sachsen zwischen 1996 und 2004 durchgeführt wurden (Adler et al., 2001; BLAC, 2003; BLfW, 2004; HMULRV, 2003; HMULRV, 2004; LAUBW, 2002; MUNLV, 2004; MUNLV, 2004a; MUNLV, 2004b; MUNLV, 2004c; MUVBW, 2000; MUVBW, 2001; MUVBW, 2003; Schäfer et al., 2004; STUA-Aachen, 2001; STUA-Aachen, 2003; STUA-Münster, 2004). Ferner wurden bisher unveröffentlichte Messreihen, die von Umweltministerien der Bundesländer Hessen, Bremen, Rheinland-Pfalz und Sachsen zur Verfügung gestellt wurden, einbezogen. Die Bezeichnungen der entsprechenden Messreihen und gegebenenfalls auch die zugehörigen Literaturquellen werden in den Übersichtstabellen A1-A12 für jeden Stoff einzeln angegeben.

In der vorliegenden Studie werden gefährliche Stoffe unter Berücksichtigung ihrer Herkunft, Anwendungsbereich und Wirkung mehreren Hauptgruppen zugeordnet, um so den Überblick zu erleichtern:

1. Industriechemikalien
2. Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM)
3. Arzneimittel
4. Endokrin wirksame Substanzen (EDC)
5. Körperpflegemittelzusätze (Desinfektionsmittel, Moschusduftstoffe, Phthalate)

Die Grenzwerte, Zielvorgaben sowie PNEC-Werte wurden den nachstehenden Quellen entnommen: (ARCEM, 2003; BLAC, 2003; EU, 2000; EU-RA-1'2'4-TCB, 2003; EU-RA-1'4-DCB, 2004; EU-RA-BPA, 2003; EU-RA-DBP, 2001; EU-RA-DecaBDPE, 2002; EU-RA-DEHP, 2001; EU-RA-NP, 2002; EU-RA-OctoBDPE, 2003; EU-RA-P, 2002; EU-RA-PentaBDPE, 2000; EU-RA-TCE, 2001; HERA-LAS, 2004; HMULRV, 2004; LUA-Brandenburg, 2002; Lutzhoft et al., 1999; OSPAR, 2000; RL-EC/QS, 2004; TrinkwV, 2001; UBA, 2004).

2.2 Ergebnisse der Studie

Die gemessenen Konzentrationen erfasster gefährlicher Stoffe in Kläranlagenabläufen, Gewässern und Klärschlämmen wurden zusammengestellt und mit Zielvorgaben, Qualitätszielen und PNEC-Werten verglichen. Die Stoffe, die in Kläranlagenabläufen,

Gewässern und Klärschlämmen oberhalb der Grenzwerte liegen, sind in Tabelle 2.1 enthalten.

Tab. 2.1.: Gefährliche Stoffe, die im Ablauf kommunaler Kläranlagen, Gewässern und in Klärschlämmen die vorhandenen Grenzwerte (außer der Trinkwassergrenzwerte) überschreiten

Gruppe	Untergruppe	Gefährliche Stoffe in kritischen Konzentrationen		
		in KA-Abläufen	in Gewässern	im Klärschlamm
Industrie- chemikalien	Alkylphenole und Alkylphenol- derivate	Nonylphenol, NP1EC, NP2EC, NP2EO, NPEO, Octylphenol	<i>k.A. (außer NP)</i>	p-Nonylphenole, Nonylphenole
	Bisphenole	Bisphenol A	Bisphenol A	Bisphenol A
	HKW		<i>k.A. für die Mehrheit der HKW</i>	AOX, 1,4- Dichlorbenzol, PCDD/F, Tetrachlorethen
	Komplex- bildner	DTPA, EDTA, NTA	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>
	Moschusver- bindungen		<i>k.A.</i>	Galaxolid, Tonalid
	PAK	Summe PAK	<i>k.A.</i>	Summe PAK
	PCB		<i>k.A.</i>	Summe 6 PCB sowie PCB-52, PCB-101, PCB- 126, PCB-138, PCB-153
	Phthalate		<i>k.A.</i>	Dibutylphthalat, DEHP
	Tenside		<i>k.A.</i>	LAS

Gruppe	Untergruppe	Gefährliche Stoffe in kritischen Konzentrationen		
		in KA-Abläufen	in Gewässern	im Klärschlamm
Arzneimittel		Carbamazepin, Ciprofloxazin, Clarithromycin, Clofibrat, Clofibrinsäure, Propranolol	Ciprofloxazin, Clarithromycin, Clofibrinsäure, Propranolol	<i>Keine Grenzwerte sind vorhanden</i>
PBSM		Chloridazon, Chlorpyrifos, Dimethoat, Diuron, Isoproturon, Mecoprop, Metazachlor, Simazin, Parathion-methyl, Terbutylazin	Alachlor, Chloridazon, Chlortoluron, Dichlorvos, Dimethoat, Diuron, Etrimfos, delta-HCH, Hexazinon, Isoproturon, Trifluralin	<i>Keine Grenzwerte sind vorhanden</i>
	Zinnorganika	Dibutylzinn, Monobutylzinn, Monooctylzinn, Tetrabutylzinn	<i>k.A.</i>	Dibutylzinn, Tetrabutylzinn
EDC	Hormone	17- β -Estradiol, Estril, Estron, 17- α -Ethinylestradiol	17- β -Estradiol, Estril, Estron, 17- α -Ethinylestradiol	<i>Keine Grenzwerte sind vorhanden</i>

k. A.: keine Angaben. Steht für die Stoffe, die in Kläranlagenabläufen gemessen wurden, aber über deren Vorkommen in Gewässern oder Klärschlämmen keine Informationen in den bearbeiteten Messreihen enthalten sind.

Obwohl bereits Informationen zum Vorkommen einiger Einzelstoffe in Gewässern, in Kläranlagenabläufen und im Klärschlamm vorliegen, ist die Datenlage immer noch unzureichend, um einen Gesamtüberblick über die Problematik zu erlangen. So fehlen nach wie vor Informationen bezüglich weiterer gefährlicher Stoffe und Substanzgruppen, wie z. B. der UV-Lichtschutzmittel. Bei vielen Stoffen gibt es außerdem zurzeit keine umfassenden ökotoxikologischen Daten, die eine Bewertung der gemessenen Konzentrationen ermöglichen würden.

Aus Messreihen in deutschen Gewässern ist ersichtlich, dass die Überschreitungen der Grenzwerte für gefährliche Stoffe in den meisten Fällen auf die kommunale Abwassereinleitungen zurückzuführen sind. Deswegen besteht es Handlungsbedarf bezüglich einiger Chemikalien (vgl. Tab. 2.1), die in kritischen Konzentrationen in die Gewässer eingeleitet werden. Ebenso stellt die Akkumulation gefährlicher Stoffe in Klärschlämmen ein erhebliches Problem insbesondere für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung dar.

Die optimale Strategie zur Minimierung eines Umweltrisikos wäre demnach der Ersatz der als gefährlich erkannter Stoffe durch umweltfreundlichere Substanzen: nicht akut toxisch, leichter abbaubar, nicht akkumulierbar, um nur einige der gewünschten Eigenschaften zu nennen. Leider ist aber eine entsprechende Substitution für viele Verbindungen in kurzer Zeit nicht umsetzbar. Außerdem kann der Eintrag mancher dieser Stoffe wie z. B. der natürlichen Hormone in das Abwasser nicht vermieden werden. Deswegen wäre die Anpassung bzw. Verbesserung der Abwasserbehandlung eine bessere und kurzfristig umsetzbare, wenn nicht gar die einzige Alternative, um den Eintrag gefährlicher Stoffe in die aquatische Umwelt zu reduzieren.

3. Verbesserung der Elimination gefährlicher Stoffe aus kommunalem Abwasser

Kommunales Abwasser wird in Deutschland üblicherweise in Kläranlagen mittels mechanisch-biologischer Reinigungsverfahren behandelt. Die Auswertungen innerhalb dieser Studie verdeutlichen, dass mit dieser Verfahrenstechnik aber einige gefährliche Stoffe nur in begrenztem Maße während der Behandlung eliminiert werden und deshalb im Ablauf der Anlagen noch in kritischen Konzentrationen nachgewiesen werden können (siehe Tab. 2.1).

Eine Verbesserung der Elimination gefährlicher Stoffe bei der Abwasserbehandlung kann einerseits durch die Optimierung des bestehenden Reinigungsprozesses oder andererseits durch die Nachbehandlung des Ablaufs (Nachschaltung weiterer Behandlungsstufen) erfolgen.

3.1 Optimierung des Reinigungsprozesses

Zur Optimierung der Elimination gefährlicher Stoffe innerhalb bestehender mechanisch-biologischer Behandlungseinrichtungen sind verschiedene Untersuchungen durchgeführt worden. Im Rahmen dieser Zusammenfassung wurde insbesondere das Augenmerk auf Maßnahmen aus dem Bereich der Vorbehandlung des Abwassers, der biologischen Behandlung sowie aus der Schlammbehandlung gerichtet. In Tab. 3.1. befindet sich eine Zusammenstellung der möglichen Maßnahmen sowie die jeweils dadurch erzielbaren Wirkungen, dargestellt anhand von Ergebnissen mit ausgewählten Leitsubstanzen.

Tab. 3.1. Maßnahmen zur Elimination gefährlicher Stoffe in kommunalen Kläranlagen.

Prozessschritt	Maßnahme	Untersuchungsergebnisse
Mechanische Abwasservorbehandlung	Zugabe von Metallsalzen und Polymeren	Erwartung einer erhöhten Elimination hydrophober gefährlicher Stoffe in der Vorklärung durch die verbesserte Abtrennung suspendierter Stoffe (MUVBW, 2003a)
	Zugabe von pulverförmiger Aktivkohle (PAC)	15-95% Elimination von NP und BPA; 85-99% - von E2 und EE2 aus dotiertem Leitungswasser (ARCEM, 2003)
Biologische Abwasserbehandlung	Zugabe von pulverförmiger Aktivkohle (PAC)	Elimination (>99%) von Organophosphor-, Organochlor- und Carbamatpestiziden aus Abwässern der agrarchemischen Produktion durch PAC-Zugabe ins Belebungsbecken (Dietrich et al., 1988)
	Erhöhung des Schlammalters	Bei höherem Schlammalter ergibt sich eine verbesserte Elimination von Nonylphenolverbindungen, BPA, E2, EE2, Bezafibrat, Diclofenac, Galaxolid und Tonalid (Kreuzinger et al., 2003).
	Kaskadierung des Belebungsbeckens	Erhöhter Abbau von E1 und E2 wird erwartet (Joss et al., 2004).
	Bioaugmentation (kontinuierliche Zugabe von spezifischen Mikroorganismen ins Belebungsbecken)	Steigerung der Elimination von 3-Chloranilin in einem Bioreaktor von 10 auf 90% durch die Zugabe eines spezialisierten Bakterienstammes (Boon et al., 2002)
Schlammbehandlung	Kompostierung des anaerob stabilisierten Schlammes	Abbau von Nonylphenol, das unter anaeroben Bedingungen persistent ist (Hesselsoe et al., 2001; Tschui and Brunner, 1985)

Prozessschritt	Maßnahme	Untersuchungsergebnisse
	Wahl der Schlammkonditionierungsmittel zur Entwässerung	Vermehrter Rückhalt von BPA im Klärschlamm (ca. 75%) bei Konditionierung mit Polymeren im Vergleich zu einer Konditionierung mit Eisen(III)chlorid und Kalkmilch (ca. 8%) (Ivashechkin et al., 2004a).

BPA: Bisphenol A, E1: Estron, E2: 17- β -Estradiol, EE2: 17- α -Ethinylestradiol, NP: Nonylphenol.

Die aufgeführten Untersuchungsergebnisse ermöglichen hinsichtlich des Spektrums der jeweils untersuchten Stoffe keine endgültigen Aussagen. Erkennbar wird aber, dass letztendlich nur Stoffe mit bestimmten Eigenschaften durch bestimmte Maßnahmen eliminiert werden können und dass die erzielbaren Eliminationsgrade nur begrenzt sind. Eine vollständige Entfernung sämtlicher gefährlicher Stoffe lässt sich mit den genannten Maßnahmen nicht realisieren, so dass eine nachgeschaltete weitergehende Behandlung erforderlich werden kann.

3.2 Nachschaltung weiterer Behandlungsstufen

Um die nach einer mechanisch-biologischen Behandlung im Abwasser verbliebenen gefährlichen Stoffe weitergehend zu entfernen, können dem biologischen Behandlungsprozess physikalische bzw. physikalisch-chemische Verfahren nachgeschaltet werden (Tab. 3.2).

Tab. 3.2. Nachgeschaltete Verfahren zur Elimination gefährlicher Stoffe

Verfahren	Wirkung
Sandfiltration	Erhöhte (um 5-15%) Elimination hydrophober Stoffe mit $\log K_d > 3,5$ (NP, PAK, manche PBSM) induziert durch einen erhöhten Rückhalt suspendierter Stoffe (Kroiß et al., 2003)
Biofiltration	Verbesserte Elimination (0-80%) von NP, BPA sowie E1, E2 und EE2 (ATV-Arbeitsbericht, 2001)
Mikrofiltration und Ultrafiltration (Membranbelebungsverfahren)	Erhöhte Elimination hydrophober Stoffe mit $\log K_d > 3,5$ (um 5-15%) durch den Rückhalt aller suspendierten Stoffe (Kroiß et al., 2003). Kein Rückhalt der Moleküle gefährlicher Stoffe (Ivashechkin et al., 2004b; MUNLV, 2003)
Nanofiltration	Indifferenter Rückhalt von EDCs bei Versuchen mit klarem Wasser (3-99,8% für E2; 22-99,6% für E1; 10-82% für EE2; 95-100% für Mestranol; 41-100% für Diethylstilbestrol; 68-100% für Progesteron; 96-100% für Sitosterin; 2-94% für NP) in Abhängigkeit von Transmembrandruck und Membranmaterial (Weber et al., 2003)
	Rückhalt von 70-97% für NP und 65-100% für BPA bei Filtrationsversuchen mit dotiertem Wasser und Nanofiltrationsmembranen aus verschiedenem Material (Wintgens et al., 2002)
Umkehrosiose	Elimination von Arzneimitteln aus Deponiesickerwässern: 40-98% für Phenacetin; 71-88% für Carbamazepin; 90-97% für Pentoxyfyllin; 66-77% für Clofibrinsäure; 5-84% für Ibuprofen; 45-72% für Gemifibrozil; 82-100% für Ketoprofen; 97-98% für Diclofenac (BLAC, 2003)
Aktivkohlefiltration	Elimination von Arzneimitteln aus Deponiesickerwässern: 99% für Phenacetin; 94-95% für Carbamazepin; 90-97% für Pentoxyfyllin; 99-100% für Clofibrinsäure; 81-87% für Ibuprofen; 92-98% für Gemifibrozil; 100% für Ketoprofen; 42-98% für Diclofenac (BLAC, 2003)
	Erhöhte Elimination von NP (54%) und BPA (32%) aus Deponiesickerwasser (Wintgens et al., 2003)

Verfahren	Wirkung
Oxidation	Elimination von 17 Arzneimitteln, 2 Moschusverbindungen, E1 und Koffein nach Behandlung des Ablaufs einer kommunaler Kläranlage (CSB=30 mg/L) mit 10 mgO ₃ /L bis unterhalb der Bestimmungsgrenze. Röntgenkontrastmittel wie Iopamidol, Iopromid, Diatrizoat und Iomeprol konnten mit 15 mgO ₃ /L sowie mit AOP-Verfahren (Advanced Oxidation Process) (O ₃ +H ₂ O ₂ ; O ₃ +UV) nicht vollständig eliminiert werden (Ternes et al., 2003).
	Bei der Ozonisierung dotierten Leitungswassers mit 1,4 mgO ₃ /L wurde > 98% BPA (0,5-20 µg/L), > 96% NP (1-200 µg/L) und > 82% EE2 (100 ng/L) eliminiert (ARCEM, 2003).

Somit kann festgestellt werden, dass mit Hilfe der Nanofiltration, Umkehrosiose, Aktivkohlefiltration, Ozonisierung und AOP-Verfahren gefährliche Stoffe weitgehend eliminiert werden können. Es muss jedoch deutlich gemacht werden, dass keine dieser Techniken universell für alle gefährlichen Stoffe anwendbar ist. Vielmehr ist die technische Lösung jedem Abwasser und den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten individuell anzupassen. Außer der erwähnten Verfahren sind auch weitere wie Abwasserverbrennung, Elektrolyse, Photolyse usw. bekannt, die unter bestimmten Voraussetzungen eine Alternative darstellen könnten (MUVBW, 2003a). Bei manchen Abwässern ist gegebenenfalls sogar die Anwendung von Kombinationen verschiedener nachgeschalteter Verfahren zu erwägen (Schröder, 2003).

4. Zusammenfassung

Die vorliegende Literaturlauswertung enthält eine Zusammenstellung der in Deutschland gemessenen Konzentrationen gefährlicher Stoffe in Kläranlagenabläufen, Klärschlämmen und Gewässern. Die Gegenüberstellung der Messwerte mit den Grenzwerten ermöglichte eine Bewertung der Relevanz dieser gefährlichen Stoffe bzw. des von ihnen ausgehenden Gefahrenpotentials. Ergänzend wurden erprobte Lösungsansätze zur Minimierung des Eintrags gefährlicher Stoffe in die Umwelt vorgestellt.

Die Auswertung der verschiedenen Studien zeigt, dass für einige Stoffe bereits umfassende Daten vorliegen. Dessen ungeachtet ist die allgemeine Datenlage zur Gesamtproblematik aber noch unzureichend. So konnten zahlreiche potenziell gefährliche Stoffe nicht bewertet werden, da für sie bisher keine Grenzwerte festgelegt worden sind.

Eine Reihe gefährlicher Substanzen konnte nachgewiesen werden (Tab. 2.1), die in Umweltmedien die bestehenden Grenzwerte überschritten. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Vorkommen dieser Stoffe in Kläranlagenabläufen und in den als Vorflut dienenden Gewässern konnte festgestellt werden. Daraus lässt sich die Notwendigkeit ableiten, dass zukünftig über die derzeitigen Maßnahmen hinausgehende Anstrengungen notwendig sein werden, um den Eintrag gefährlicher Stoffe in die aquatische Umwelt zu minimieren. Weiterhin muss man aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zu dem Schluss kommen, dass eine Unbedenklichkeit der landwirtschaftlichen Verwertung einiger Klärschlämme im Hinblick auf den Eintrag gefährlicher Stoffe z. Zt. nicht gegeben ist.

Weitergehende Maßnahmen bei der Abwasserreinigung erscheinen als ein möglicher Weg, den Eintrag gefährlicher Stoffe in die Gewässer zu verringern. Grundsätzlich kann im Rahmen der Abwasserbehandlung sowohl eine betriebliche Optimierung erfolgen als auch andere additive Reinigungsschritte vorgesehen werden. Eine betriebliche Optimierung kann kostengünstiger als eine Nachrüstung, dafür aber weniger effektiv sein.

Zusammenfassend wird empfohlen, die jeweiligen technischen Maßnahmen bei der Abwasserbehandlung individuell entsprechend den örtlichen Gegebenheiten sowie der Abwasserbeschaffenheit optimiert einzusetzen und nach Bedarf zu kombinieren. Daraus resultierende Behandlungsergebnisse sind durch leistungsfähige analytische Verfahren zu verfolgen.

5. Literatur

- Adler, P., Steger-Hartmann, T., and Kalbfus, W. (2001): Distribution of natural and synthetic estrogenic steroid hormones in water samples from Southern and Middle Germany. *Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica* **29**, 227-241.
- ARCEM (2003): *Hormonwirksame Stoffe in Österreichs Gewässern - ein Risiko?* www.arcem.at. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- ATV-Arbeitsbericht (2001): "Endokrin wirksame Substanzen in Kläranlagen. Vorkommen, Verbleib und Wirkung" DVWK-AG IG 5.4.
- BLAC (2003): Arzneimittel in der Umwelt. Auswertung der Untersuchungsergebnisse. *Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit (BLAC)*.
- BLfW (2004): Arzneimittel in der Umwelt. *F+E-Vorhaben 2000-2002, Kennnummer 73e 040100 49, Materialien Nr. 114, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, August 2004*.
- Boon, N., De Gelder, L., Lievens, H., Siciliano, S. D., Top, E. M., and Verstraete, W. (2002): Bioaugmenting bioreactors for the continuous removal of 3-chloroaniline by a slow release approach. *Environmental Science & Technology* **36**, 4698-4704.
- Dietrich, M. J., Copa, W. M., Chowdhury, A. K., and Randall, T. L. (1988): Removal of Pollutants from Dilute Waste-Water by the Pact Treatment Process. *Environmental Progress* **7**, 143-149.
- EU (2000): Working document on sludge. 3rd draft of the 27th of April 2000. ENV.E.3/LM. Brussels.
- EU-RA-1'2'4-TCB (2003): 1,2,4-Trichlorbenzene CAS No: 120-82-1 EINECS No: 204-428-0. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-1'4-DCB (2004): 1,4-Dichlorbenzene CAS No: 106-46-7 EINECS No: 203-400-5. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-BPA (2003): European Union risk assessment report "Bisphenol A CAS No: 80-05-7; EINECS No: 201-245-8", 2003, Italy.
- EU-RA-DBP (2001): Risk assesment of dibutylphthalate. Final version, June 2001.
- EU-RA-DecaBDPE (2002): Bis(pentabromophenyl) ether. CAS No: 1163-19-5 EINECS No: 214-604-9. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-DEHP (2001): Bis(2-ethylhexyl) phthalate. European Union Risk Assessment Report, Draft of September 2001.
- EU-RA-NP (2002): *4-Nonylphenol (Branched) and Nonylphenol. CAS No. 84852-15-3 and 25154-52-3. EINECS No. 284-325-5 and 246-67-0 - EUR 20387/EN*. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-OctoBDPE (2003): Diphenyl ether, octabromo derivative CAS No: 32536-52-0 EINECS No: 251-087-9. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-P (2002): Phenol CAS-No.: 108-95-2 EINECS-No.: 203-632-7. European Union Risk Assessment Report. Draft of 12.11.2002.
- EU-RA-PentaBDPE (2000): Diphenyl ether, pentabromo derivative. CAS No.: 32534-81-9 EINECS No.: 251-084-2. European Union Risk Assessment Report.
- EU-RA-TCE (2001): Tetrachlorethylene CAS No: 127-18-14 EINECS No: 204-825-9. European Union Risk Assesment Report. Draft of August 2001.
- HERA-LAS (2004): HERA – Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of European household cleaning products, Linear Alkylbenzene Sulphonates (LAS), www.heraproject.com, Mai 2004.
- Hesselsoe, M., Jensen, D., Skals, K., Olesen, T., Moldrup, P., Roslev, P., Mortensen, G. K., and Henriksen, K. (2001): Degradation of 4-nonylphenol in homogeneous and nonhomogeneous mixtures of soil and sewage sludge. *Environmental Science & Technology* **35**, 3695-3700.
- HMULRV (2003): Statusbericht AGS/6-4: Gefährliche Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie und der Richtlinie 76/464/EWG in hessischen Oberflächengewässern. *Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz*.

- HMULRV (2004): Belastung der Oberflächengewässer mit Nitrosaminen, insbesondere mit N-Nitrosodimethylamin (NDMA). Wiesbaden, 10. Dezember 2004. *Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz*.
- Ivashechkin, P., Corvini, P., and Dohmann, M. (2004a): Behaviour of endocrine disrupting chemicals during the treatment of municipal sewage sludge. *Water Science and Technology* **50** (5).
- Ivashechkin, P., Corvini, P., Fahrbach, M., Hollender, J., Konietzko, M., Meesters, R., Schröder, H. F., and Dohmann, M. (2004b): Comparison of the elimination of endocrine disrupters in conventional wastewater treatment plants and membrane bioreactors. *Water Environment Management Series (WEMS), IWA Publishing (in press). Proceedings of the 2nd IWA Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies, 1.-4.06.2004 in Prague, Czech Republic*.
- Joss, A., Andersen, H., Ternes, T. A., Richle, P. R., and Siegrist, H. (2004): Removal of estrogens in municipal wastewater treatment under aerobic and anaerobic conditions: consequences for plant optimization. *Environmental Science & Technology* **38**, 3047-3055.
- Kreuzinger, N., Clara, M., Strenn, B., and Kroiss, H. (2003): Relevance of the sludge retention time (SRT) as design criteria for waste water treatment plants for the removal of endocrine disrupters and pharmaceuticals from waste water. Ecohazard 2003, the 4th IWA specialized conference on assessment and control of hazardous substances in water. 14-17.09.2003 in Aachen, Germany.
- Kroiß, H., Strenn, B., Clara, M., and Kreuzinger, N. (2003): VALIUM: Verhalten von bestimmten Arzneimittelrückständen, Industrie- und Umweltchemikalien in Membranbioreaktoren, TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft., Wien.
- LAUBW (2002): Vorkommen von Pharmaka und Hormonen in Grund-, Oberflächenwässern und Böden in Baden-Württemberg. Abschlussbericht. Projekt-Nr. U33-00.01. Laufzeit 01.06.2000-30.06.2002. *Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*.
- LUA-Brandenburg (2002): Ökotoxikologische Bewertung von Humanarzneimitteln in aquatischen Ökosystemen. Studien und Tagungsberichte Band 39, 2002. *Landesumweltamt Brandenburg*.
- Lutzhof, H. C. H., Halling-Sorensen, B., and Jorgensen, S. E. (1999): Algal toxicity of antibacterial agents applied in Danish fish farming. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* **36**, 1-6.
- MUNLV (2003): *Abwasserreinigung mit Membrantechnik: Membraneinsatz im kommunalen und industriellen Bereich*. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.
- MUNLV (2004): Abfälle aus Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen. Teil D: Organische Schadstoffe in Klärschlämmen aus der kommunalen Abwasserbehandlung. *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*.
- MUNLV (2004a): Erfassung organischer Schadstoffe in Klärschlämmen aus der kommunalen Abwasserbehandlung - Ableitung von Anforderungen an die landwirtschaftliche Verwertung. Abschlussbericht P2011086, Juni 2004. *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*.
- MUNLV (2004b): Einträge und Quellen von Phosphororganischen Flammschutzmitteln in Oberflächen- und Abwässern. Dezember 2004. *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*.
- MUNLV (2004c): Untersuchung zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. *Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*.
- MUVBW (2000): Schwer abbaubare Substanzen mit östrogenartiger Wirkung im Abwasser. Abschlussbericht. Projektleiter: Prof. Metzger. *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg*.

- MUVBW (2001): Schwer abbaubare Substanzen mit östrogenartiger Wirkung im Abwasser. Abschlussbericht für das Anschlussvorhaben. Projektleiter: Prof. Metzger. *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg*.
- MUVBW (2003): Pharmaka und Hormone in der aquatischen Umwelt. Abschlussbericht für Projekt UVM ONr 53-00.01. Projektleitung: Prof. Metzger. *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg*.
- MUVBW (2003a): Untersuchung und Optimierung der Abwasserreinigung zur Eliminierung von organischen Spurenstoffen unter verfahrenstechnischen und ökonomischen Aspekten. Literaturstudie. *Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg*.
- OSPAR (2000): OSPAR Background Document on Musk Xylene and Other Musks. OSPAR Commission, 2000.
- RL-EC/QS (2004): Direktive of the European Parliament and of the Council on the environmental quality standards and emission controls in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC and 96/61/EC. (Draft).
- Schäfer, R., Palm, W. U., Steffen, D., and Ruck, W. (2004): Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel in niedersächsischen Fließgewässern von 1994 bis 2001. *HW 48. 2004, H. 3*.
- Schröder, H. F. (2003): Abwasserreinigungsverfahren zur verbesserten Elimination pharmazeutischer und endokrin wirksamer Reststoffe. In: Spurenstoffe in Gewässern; Pharmazeutische Reststoffe und endokrin wirksame Substanzen. T. Track, G. Kreysa (Eds.), pp. 153-172. WILEY-VCH, Weinheim/Germany.
- STUA-Aachen (2001): Arzneimittel in der Umwelt. Ergebnisse Untersuchungsprogramm Kläranlagenabläufe 2000. Untersuchungsbericht von 23.1.2001. *Staatliches Umweltamt Aachen*.
- STUA-Aachen (2003): Pflanzenschutzbehandlungsmittel in Kläranlagenabläufen und Gewässern. Untersuchungsbericht Messprogramm 2003. *Staatliches Umweltamt Aachen*.
- STUA-Münster (2004): Untersuchungen zum Verbleib von Carbamazepin und anderen Arzneimittelwirkstoffen in Gewässersystem des Münsterlandes. *Staatliches Umweltamt Münster*.
- Ternes, T. A., Stuber, J., Herrmann, N., McDowell, D., Ried, A., Kampmann, M., and Teiser, B. (2003): Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater? *Water Res* **37**, 1976-82.
- TrinkwV (2001): Trinkwasserverordnung: (TrinkwV 2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch vom 21. Mai 2001 (BGBl. I Nr. 24 vom 28.05.2001 S. 959) zuletzt geändert am 25. November 2003 durch Artikel 263 der Achten Zuständigkeitsanpassungsverordnung (BGBl. I Nr. 56 vom 27.11.2003 S. 2304).
- Tschui, M., and Brunner, P. H. (1985): Die Bildung von 4-Nonylphenol aus 4-Nonylphenolmono- und -diethoxylat bei der Schlammfäulung. *vom Wasser* **65**, 9-19.
- UBA (2004): Übersicht der Qualitätsanforderungen der EG, der internationalen Flussgemeinschaft und der LAWA für organische Umweltchemikalien, Schwermetalle und Pestizide. Verordnungen der Bundesländer zur Verringerung der Gewässerverschmutzung und zur Umsetzung der Anhänge II und V der EG-Wasserrahmenrichtlinie. www.umweltbundesamt.de.
- Weber, S., Gallenkemper, M., Melin, T., Dott, W., and Hollender, J. (2003): Efficiency of nanofiltration for the elimination of steroids from water. Ecohazard 2003, the 4th IWA specialized conference on assessment and control of hazardous substances in water. 14-17.09.2003 in Aachen, Germany.
- Wintgens, T., Gallenkemper, M., and Melin, T. (2002): Endocrine disrupter removal from wastewater using membrane bioreactor and nanofiltration technology. *Desalination* **146**, 387-391.
- Wintgens, T., Gallenkemper, M., and Melin, T. (2003): Occurrence and removal of endocrine disrupters in landfill leachate treatment plants. *Water Science and Technology* **48**, 127-134.