

DWA- Themen

Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf

Arzneistoffe

Mai 2008



Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) ist in Deutschland Sprecher für alle übergreifenden Wasserfragen und setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Normung, beruflicher Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14.000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Der Schwerpunkt ihrer Tätigkeiten liegt auf der Erarbeitung und Aktualisierung eines einheitlichen technischen Regelwerkes sowie der Mitarbeit bei der Aufstellung fachspezifischer Normen auf nationaler und internationaler Ebene. Hierzu gehören nicht nur die technisch-wissenschaftlichen Themen, sondern auch die wirtschaftlichen und rechtlichen Belange des Umwelt- und Gewässerschutzes.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: kundenzentrum@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

DCM • Druckcenter Meckenheim

ISBN:

978-3-940173-74-4

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2008

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Der vorgelegte Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.1 „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf“ und des Hauptausschusses III „Wissenschaftliche Grundlagen“ der Wasserchemischen Gesellschaft verfasst. Die Arbeitsgruppe bedankt sich für zahlreiche wertvolle Kommentare und kritische Anmerkungen von Mitgliedern der DWA und DVGW.

Der Themenband richtet sich primär an Politik und Verwaltung sowie an Ver- und Entsorger, aber auch an Produzenten, Verbraucher und Nutzer von Produkten, die anthropogene Spurenstoffe enthalten. Unter anthropogenen Spurenstoffen werden in der Regel organische Verbindungen wie Pharmaka, kosmetische Inhaltsstoffe, perfluorierte Verbindungen, Pestizide oder Biozide verstanden, die in Abwasser, Grund-, Oberflächen- oder Trinkwasser im µg/L- bis ng/L-Bereich nachweisbar sind.

Der Themenband beleuchtet am Beispiel der Pharmaka ausgehend von der aktuellen Belastungssituation die vielschichtige Problematik der anthropogenen Spurenstoffe, ökotoxikologische und humantoxikologische Risiken sowie mögliche Konsequenzen für Ver- und Entsorger. Es wurde ein interdisziplinärer Ansatz gewählt, in dem die Fragestellungen aus der Sicht der Humantoxikologie, Ökotoxikologie, Umwelt- und Wasserchemie sowie der Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung beleuchtet werden. Das Ziel des vorliegenden Themenbandes besteht darin, auf Gefährdungspotenziale hinzuweisen, Handlungsoptionen auf unterschiedlichen Ebenen vorzuschlagen und nationale und europäische Regelungs- und Gesetzeslücken aufzuzeigen.

Eine umfassende Patentlösung für die Vermeidung und/oder die Entfernung von anthropogenen Stoffen aus dem urbanen Wasserkreislauf wird es nicht geben. Politik/Verwaltung, Hersteller, Nutzer, Verbraucher sowie Ver- und Entsorger müssen künftig zusammenarbeiten, um Risiken die sich aus der Belastung der Oberflächengewässer, von Grund- und Trinkwässern ergeben können, zu minimieren.

Nach der Einleitung in die Problematik (Kapitel 1) wird in Kapitel 2 exemplarisch das Auftreten ausgewählter Pharmaka in unterschiedlichen Umweltmatrizes vom Abwasser, über Fließgewässer bis hin zum Trinkwasser dargestellt. Kapitel 3 beleuchtet die Defizite der Wasserrahmenrichtlinie in Bezug auf anthropogene Spurenstoffe und zeigt Lösungsansätze auf, um diese zu beheben. In Kapitel 4 werden Maßnahmen zur Reduzierung der Eintragsmengen diskutiert. In Kapitel 5 werden neue gesetzliche Regelungen zur Prüfung der ökotoxikologischen Risiken von Pharmaka vorgestellt. Die Kapitel 6 und 7 beschreiben die Technologien in der Abwasserbehandlung und der Wasserversorgung zur Entfernung von Pharmaka und anderen Spurenstoffen. Anschließend wird in Kapitel 8 die trinkwasserrechtliche und die ästhetische Bewertung des Auftretens von anthropogenen Spurenstoffen im Trinkwasser erörtert. Kapitel 9 stellt die wissenschaftlichen Grundlagen und regulatorischen Aspekte zur Bewertung aus humantoxikologischer Sicht dar. In Kapitel 10 finden sich Beschreibungen von internationalen Projekten zur Wiederverwendung von Abwasser. Schließlich werden in Kapitel 11 die Probleme des geschlossenen urbanen Wasserkreislaufs am Beispiel von Berlin und in Kapitel 12 die Wiederverwendung von Abwasser in der Landwirtschaft am Beispiel von Braunschweig erörtert. Ausgehend von den zuvor diskutierten Inhalten wird in Kapitel 13 der aktuelle Forschungsbedarf aufgezeigt.

Es ist nicht das Ziel des Themenbandes, eine vollständige Literaturübersicht über die Problematik der Spurenstoffe im Wasserkreislauf zu liefern. Wo immer dies erforderlich ist, wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

Verfasser

Der Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.1 „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf“ im DWA-Fachausschuss KA-8 „Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung nach biologischer Behandlung“ erarbeitet. Die DWA-Arbeitsgruppe KA-8 existiert personengleich im Hauptausschuss III „Wissenschaftliche Grundlagen“ der Wasserchemischen Gesellschaft – Fachgruppe in der GDCh.

Der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.1 „Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf“ gehören folgende Mitglieder an:

BAUER, Karl-Heinz	Dr., Hessenwasser GmbH & Co. KG, Groß-Gerau
DIETER, Hermann	PD. Dr., UBA, Berlin
DÜNGBIER, Uwe	Dr., Berliner Wasserbetriebe
GEIßEN, Sven-Uwe	Prof. Dr.-Ing., TU Berlin
GRUMMT, Tamara	Dr., UBA, Bad Elster
KNACKER, Thomas	Dr., ECT, Flörsheim
MÜCKTER, Harald	PD Dr., Ludwig-Maximilians-Universität, München
SEEL, Peter	Dr., Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
SIEGRIST, Hansruedi	Prof. Dr., EAWAG, Duebendorf/Schweiz
SCHWARTZ, Thomas	Dr., Forschungszentrum Karlsruhe
TEISER, Bernhard	Dipl.-Ing., Abwasserverband Braunschweig
TERNES, Thomas	PD Dr., BfG, Koblenz (Sprecher der Arbeitsgruppe)
WEBER, Lilo	Dipl.-Ing., Hessenwasser GmbH & Co. KG, Groß-Gerau

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle

THALER, Sabine	Dipl.-Biol., Hennef Abteilung Abwasser und Gewässerschutz
----------------	--

Inhalt

Vorwort	3
Verfasser	4
Bilderverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	8
Schlussfolgerungen und zusammenfassende Diskussion	9
Intention des Themenbandes.....	9
Zusammenfassende Diskussion und Forderungen an Politik, Wissenschaft und Verbände	9
1 Einleitung	13
1.1 Siedlungswasserwirtschaft und Wiederverwertung von Abwasser	13
1.2 Eintragswege von Pharmaka in die Umwelt.....	15
Literatur	16
2 Belastungssituation in Bezug auf Pharmaka	17
2.1 Einleitung	17
2.2 Gereinigte Abwässer und Fließgewässer	17
2.3 Grund- und Trinkwasser	19
2.4 Weitere Umweltmatrizes.....	20
2.5 Pathogene Mikroorganismen als Träger von Antibiotikaresistenzen	20
Literatur	22
3 Beurteilung der stofflichen Belastung oberirdischer Gewässer im Vollzug der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie (WRRL)	25
4 Strategien zur Vermeidung des Eintrages von Arzneistoffen in die Gewässer	27
4.1 Einführung eines Umweltzeichens.....	28
4.2 Behandlung von höher belasteten Teilströmen und Quellenseparierung	29
4.3 Beispiel: iodierter Röntgenkontrastmittel.....	30
4.4 Schlussfolgerungen	31
Literatur	31
5 Berücksichtigung des Umweltverhaltens von Arzneistoffen bei der Zulassung	33
5.1 Bewertung des Umweltrisikos von Einzelstoffen.....	33
5.2 Beispiele	34
5.3 Ausblick	38
Literatur	38
6 Eliminationsprozesse in der mechanisch-biologischen Kläranlage und mögliche weitergehende Maßnahmen	40
6.1 Einleitung	40
6.2 Sorption	41
6.3 Biologischer Abbau	42
6.4 Weiterreichende Maßnahmen bei der kommunalen Abwasserreinigung.....	44
Literatur	48

Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf

7	Anforderungen an die Technologien zur Trinkwasseraufbereitung	49
7.1	Einleitung	49
7.2	Verfahren der Trinkwasseraufbereitung	49
7.3	Eignung ausgewählter Aufbereitungsverfahren zur Entfernung von Pharmaka.....	50
7.4	Beispiele für Verfahrenskombinationen zur Aufbereitung von abwasserbeeinflusstem Oberflächenwasser in der Trinkwasseraufbereitung	57
7.5	Diskussion und Ausblick	58
Literatur	.....	58
8	Trinkwasserhygienische und ästhetische Bewertung der stofflichen Belastung von Trinkwasser mit mobilen organischen (und anorganischen) Fremdstoffen	61
8.1	Trinkwasserhygienische Bewertung.....	61
Literatur	.....	63
9	Humantoxizität von Pharmaka/ Kombinationseffekte im aquatischen Milieu	64
9.1	Einleitung	64
9.2	Stoffe von besonderem Interesse für die öffentliche Gesundheit.....	64
9.3	Toxikologische Daten und ihre Interpretation.....	65
9.4	Kinetische Daten.....	66
9.5	Regulatorische Aspekte	66
9.6	Gesundheitliche Risikobewertung („health risk assessment“)	66
9.7	Vorsorgeprinzip, Priorisierung (GOW, TTC)	67
9.8	Kombitox: Definition & Problematik.....	68
9.9	Schlussfolgerung	68
Literatur	.....	69
10	Abwasserwiederverwendung	70
10.1	Einleitung	70
10.2	Internationale Beispiele.....	71
Literatur	.....	74
11	Quellen und Senken anthropogener Stoffe im Wasserkreislauf von Berlin	75
Literatur	.....	78
12	Abwasserverwertung in Braunschweig	79
Literatur	.....	81
13	Forschungs- und Handlungsbedarf	82
Glossar	.....	83

Bilderverzeichnis

Bild 1.1:	Schadstoffe, die schon seit längerer Zeit gemessen und zum Großteil in Verordnungen geregelt sind.....	13
Bild 1.2:	Auswahl von erst seit wenigen Jahren in Fließgewässern nachgewiesenen Schadstoffen, die an Bedeutung gewinnen.....	14
Bild 1.3:	Eintragswege von Arzneistoffen in die Umwelt und in das Trinkwasser	16
Bild 2.1:	Schematische Darstellung zum Metabolismus von Arzneistoffen.....	17
Bild 2.2:	Vergleich der Konzentrationen ausgewählter Pharmaka von kleinen Flüssen und Bächen im hessischen Ried mit denen von großen Flüssen wie Rhein und Main.....	19
Bild 2.3:	Konzentrationsbereiche von vier ausgewählten Arzneistoffen in exponierten Grundwässern...	20
Bild 3.1:	Schematische Darstellung der Risikoabschätzung für Gewässer nach WRRL	25
Bild 4.1:	Handlungsoptionen zur Reduzierung des Eintrages von Pharmaka an den Quellen	28
Bild 4.2:	Dezentrales Abwasserkonzept der Hans Huber AG	30
Bild 5.1:	Vereinfachte schematische Darstellung des Ablaufs einer Umweltrisikobewertung im Rahmen der Zulassung oder Registrierung von Einzelstoffen	34
Bild 5.2:	Schematische Darstellung des Ablaufs einer Umweltrisikobewertung von 17 α -Ethinylestradiol (EE2) gemäß EMEA (2006). Abkürzungen: P _{ow} Oktanol-Wasser Verteilungskoeffizient, K _{oc} Adsorptionskoeffizient – TGD Technical Guidance Document	36
Bild 5.3:	Schematische Darstellung des Verlaufs einer Umweltrisikobewertung von Carbamazepin (CBZ) gemäß EMEA (2006). Abkürzungen: K _{oc} Adsorptionskoeffizient; TGD Technical Guidance Document	37
Bild 6.1:	Geschichtliche Entwicklung des Belebungsverfahrens.....	40
Bild 6.2:	Sorptionskonstante und an die suspendierten Stoffe sorbierter Anteil ausgewählter Verbindungen im Zulauf sowie im Primär- (bezogen auf Zulauf Vorklärung) und Sekundärschlamm (bezogen auf Ablauf Vorklärung).....	42
Bild 6.3:	Der biologische Abbau bzw. die Transformation einer Verbindung ist abhängig vom Schlammalter (t _{TS}) des Belebtschlammes.....	42
Bild 6.4:	Stofffluss und Abbau des Kontrazeptivums 17 α -Ethinylestradiol in der Kläranlage Wiesbaden, Deutschland (t _{TS} \approx 12 Tage) in g pro Tag	43
Bild 6.5:	Oxidation von Arzneistoffen in einem biologisch gereinigten Abwasser durch Ozonbehandlung	46
Bild 7.1:	Wasserressource und häufig eingesetzte Aufbereitungsverfahren.....	50
Bild 7.2:	Durchbruchverhalten von Diatrizoat und Iopromid bei der Aktivkohlefiltration (F300) in einem Wasserwerk.....	54
Bild 7.3:	Halbwertszeiten und Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten für die Reaktion von Pharmaka mit Ozon	55
Bild 7.4:	Rückhaltung von Stoffen beim Einsatz von Membranverfahren	56
Bild 7.5:	Entfernung ausgewählter Arzneimittelrückstände durch Aufbereitung in einem deutschen Wasserwerk	57
Bild 7.6:	Elimination von RKM bei der Oberflächenwasseraufbereitung.....	57
Bild 10.1:	Wasserherkunft und -versorgung in Windhoek, Namibia	71
Bild 10.2:	Direkte Wasserwiederverwendung in Windhuk, Namibia	72
Bild 10.3:	Water Factory 21	72
Bild 10.4:	NEWater, Singapur.....	73
Bild 11.1:	Hydrogeologische Skizze der Stadt Berlin.....	75
Bild 11.2:	Herkunft des Rohwassers für die Trinkwasseraufbereitung in Berlin.....	76
Bild 11.3:	Wassertechnische Anlagen der Berliner Wasserbetriebe: Schematische Darstellung der Wasserwerke und des Trinkwassernetzes sowie des Kanal- und Drockrohrnetzes und den Klärwerken.....	76
Bild 11.4:	Der Wasserkreislauf im urbanen Gebiet von Berlin	78
Bild 12.1:	Abwasserwertungskonzept der Stadt Braunschweig	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Konzentrationsbereiche nachgewiesener Arzneistoffe in deutschen KA-Abläufen.....	18
Tabelle 2.2:	Konzentrationsbereiche der nachgewiesenen Pharmaka in deutschen Fließgewässern ...	18
Tabelle 4.1:	Bewertung der Eliminierung eines Arzneistoffes bei Flockung, Ozonung und Aktivkohlefiltration	29
Tabelle 5.1:	Eigenschaften der ausgewählten Pharmaka.....	35
Tabelle 5.2:	Erwartete Konzentrationen von zwei Humanpharmaka (CBZ und EE2) in Oberflächengewässern Deutschlands (PEC_{sw-G})	35
Tabelle 6.1:	Konzentration und Elimination (in Klammern) von Pharmaka (BG: 0.050 µg/L) und Estron (BG: 3 ng/L) im Kläranlagenablauf Braunschweig (DOC: 23.0 mg/L, pH 7,2) vor/nach Ozonung (5, 10, 15 mg/L O ₃)	45
Tabelle 6.2:	Anzahl von Resistenzen, nachgewiesen in Enterokokken in einem städtischen und ländlichen Kläranlagenzulauf sowie nach der Dosierung von 8 bzw. 15 g Ozon je m ³ Kläranlagenablauf biologisch gereinigtes Abwasser	46
Tabelle 7.1:	Wirksamkeit von Uferfiltration, Flockung und Aktivkohlefiltration zur Eliminierung von Pharmaka	51
Tabelle 7.2:	Wirksamkeit weitergehender Verfahren zur Eliminierung von Pharmaka	52
Tabelle 9.1:	Rangliste der fünf meist verordneten Arzneimittelindikationsgruppen mit Beispielstoffen, die im Wasserkreislauf nachgewiesen wurden	64
Tabelle 9.2:	Gesundheitliche Risiken durch Arzneimittelrückstände im Wasserkreislauf und ihre epidemiologische Evidenz	67
Tabelle 10.1:	Arten der Wiederverwendung von Abwasser	70
Tabelle 10.2:	Wasserwiedernutzungsanlagen	71
Tabelle 11.1:	Reduktion (in %) anthropogener Parameter durch die Oberflächenwasseraufbereitungsanlage (OWA), Tegel.....	77
Tabelle 12.1:	Konzentrationen (µg/L) von Pharmaka in Zu- und Ablauf der Kläranlage Braunschweig sowie in ausgewählten Brunnen des Verrechnungsgebietes	81

Schlussfolgerungen und zusammenfassende Diskussion

Intention des Themenbandes

Der hier vorgelegte Themenband zeigt mögliche Gefährdungspotenziale, Handlungsmöglichkeiten und den Forschungsbedarf zur Vermeidung anthropogener Spurenstoffe in der aquatischen Umwelt auf und macht auf nationale und europäische Regelungs- und Gesetzeslücken, beispielsweise in der Wasserrahmenrichtlinie, aufmerksam. Humanpharmaka stehen stellvertretend für die Vielfalt der Spurenstoffe im Mittelpunkt der Betrachtung.

Zur vorsorglichen Vermeidung von Risiken für Mensch und Umwelt werden Maßnahmen unterschiedlichster Art vorgeschlagen, deren Verwirklichung die Belastungen des Wasserkreislaufes vom Abwasser bis hin zum Trinkwasser verringern wird. Sie reichen von der Reduzierung an den Belastungsquellen über die Abwasserreinigung bis zur Trinkwasseraufbereitung.

Im folgenden werden unter anderem folgende Fragen diskutiert und soweit wie möglich beantwortet:

- Gibt es Risiken für Mensch und Umwelt durch anthropogene Spurenstoffe im urbanen Wasserkreislauf?
- Reichen die Regelungen der Wasserrahmenrichtlinie, der Grundwasserrichtlinie und der Trinkwasserverordnung im Hinblick auf anthropogene Stoffe zum Schutz von Mensch und Umwelt aus?
- Welche Handlungsoptionen gibt es bei den Eintragsquellen, der Abwasserreinigung und der Aufbereitung zu Trinkwasser?

Zusammenfassende Diskussion und Forderungen an Politik, Wissenschaft und Verbände

Gibt es Risiken für Mensch und Umwelt durch anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf?

Unter Berücksichtigung der aktuellen Bewertungskriterien wurde von keinem der im Wasser (Grundwasser, Trinkwasser) nachgewiesenen Stoffe ein Gesundheitsrisiko für den Menschen beschrieben. Allerdings ist die Datenlage keineswegs befriedigend, denn nur in Einzelfällen können beispielsweise Arzneimittel bzw. deren Abbauprodukte im Wasserkreislauf lückenlos gesundheitlich bewertet werden. Eine Priorisierung der vollständig zu bewertenden Stoffe erscheint auf der Grundlage von Expositionsdaten und Wirkmechanismen unerlässlich.

Aus Sicht der Humantoxikologie sind bislang vier toxikologisch relevante Wirkgruppen identifiziert, deren Anwesenheit gesundheitlich prinzipiell unerwünscht ist: (a) Stoffe mit hormonartigem Wirkungspotenzial, (b) Stoffe mit gentoxischer Wirkung (z. B. Zytostatika), (c) Stoffe mit immuntoxischer Wirkung und (d) Stoffe mit antiinfektiver Wirkung (z. B. Antibiotika).

Solange die Datenbasis unvollständig ist, werden im Trinkwasserbereich die gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) des Umweltbundesamtes (UBA) für nicht oder nur teilbewertbare Stoffe mit unzureichender toxikologischer Datenlage angewendet. In diesem Konzept wird für nicht oder schwach gentoxische Stoffe eine Konzentration unterhalb des GOW₁ von 0,1 µg/L als lebenslang gesundheitlich sicher eingestuft. Für stark gentoxische Stoffe ist wegen deren hoher toxikologischer Relevanz erst ein Unterschreiten des GOW₂ von 0,01 µg/L akzeptabel. Die dauerhafte Unterschreitung beider Werte lässt auch bei späterer lückenloser Bewertung einen ausreichenden Sicherheitsabstand zu streng toxikologisch abgeleiteten Werten erwarten.

Aus Sicht der Ökotoxikologie beschränkt sich die Betrachtung des Wasserkreislaufs bisher auf die Bewertung chemischer Einzelstoffe und nur in Ausnahmefällen auf Stoffgemische, nimmt aber kaum Bezug zur möglichen Anwesenheit mikrobieller Kontaminationen, die natürlich auch Ökosysteme beeinflussen können. Die Zusammenhänge sind vor dem Hintergrund ihrer Pathogenität und der Zunahme von Multiresistenzen gegen Antibiotika zu bewerten.