

## Arzneimittelrückstände in der Umwelt – Ein globales Problem?

Tim aus der Beek, Frank-Andreas Weber, Axel Bergmann, Silke Hickmann, Ina Ebert, Anette Küster und Arne Hein

Der Verbrauch von Arzneimitteln ist in den letzten Dekaden aufgrund wachsender Bevölkerungszahlen, veränderter Bevölkerungsstrukturen, besserer Versorgung und Vermarktung stark angestiegen. Gleichzeitig wurden neue Analytikverfahren entwickelt oder bestehende verfeinert, so dass Arzneimittel in Umweltproben mittlerweile im  $\mu\text{g/L}$  bis  $\text{pg/L}$  Bereich detektiert werden können. Seit den späten 1990er Jahren ist parallel hierzu ein deutlicher Anstieg von wissenschaftlichen Publikationen zum Vorkommen von Arzneimitteln in der Umwelt zu verzeichnen. Ziel der hier vorliegenden Studie ist die globale Analyse des Vorkommens von Arzneimitteln in der Umwelt, basierend auf publizierten Daten. In der Literatur existieren bereits etwa 150 Reviews, jedoch fokussieren diese meist auf bestimmte Länder, wie beispielsweise China (Bu et al., 2013), auf Wasserkörper, wie den Llobregat Fluss in Spanien (Gonzalez et al., 2012), auf Arzneimittelgruppen, wie Psychopharmaka (Calisto & Esteves, 2009), auf Wirkstoffe wie das Antibiotikum Tetrazyklin (Daghrir & Drogui, 2013), auf Umweltkompartimente wie Grundwasser (Lapworth et al., 2012), auf Probenahmemethoden (Petrovic et al., 2005) oder auf Emissionsquellen wie Krankenhäuser (Orias & Perrodin 2013). Nur sehr wenige Zusammenfassungen wissenschaftlicher Ergebnisse zu Arzneimitteln in der Umwelt beziehen sich auf die kontinentale bis globale Skala wie z. B. Hughes et al. (2012). Hier wurde jedoch auf die Auswertung von Daten aus staatlichen Messprogrammen, universitären Forschungsberichten und von Publikationen nicht-englischer Veröffentlichungen verzichtet, so dass Entwicklungs- und Schwellenländer oftmals nicht berücksichtigt wurden. Der hier vorliegenden Studie liegen neben den oben beschriebenen Literatur- und Datenquellen auch bestehende Datenbanken aus Deutschland (Bergmann, 2011) sowie aus europäischen Projekten und Netzwerken wie NORMAN ([www.norman-network.net](http://www.norman-network.net)), Knappe (2008), FATE-SEES (JRC 2012) und POSEIDON (Ternes et al. 2004) zugrunde. Zusätzlich zur Literaturrecherche der wissenschaftlichen Publikationen wurden 41 Akteure aus den Bereichen Umwelt und Wissenschaft in 18 Ländern angeschrieben, z. B. Wissenschaftler, NGOs und Ministerien in Entwicklungsländern, um Daten zu beziehen. Abschließend konnten auf diese Weise 1016 Publikationen und Datenquellen mit Originaldaten in einer Endnote<sup>®</sup>-Datenbank zusammengetragen werden. Die Messwerte der in der Umwelt vorkommenden Arzneimittel wurden aus allen Quellen in ein einheitliches SQL-Datenbankformat übertragen, wobei eine Vielzahl von Zusatzinformationen wie z. B. Detektionslimit, Ort der Messung, Kompartiment, Literaturverweis, berücksichtigt wurden. Eine Einschätzung der Plausibilität der Messwerte wurde ebenfalls

zugewiesen. Insgesamt konnten 123.761 Einträge in der Datenbank vorgenommen werden. Ein Datenbankeintrag entspricht hierbei nicht unbedingt einem Messwert, da viele Literatur- und Datenquellen Messwerte in statistischen Größen, wie z. B. einem Mittelwert, Median oder Perzentil zusammenfassen. 47 % der Datenbankeinträge beziehen sich auf Messwerte in Oberflächengewässern, wobei Flüsse den weitaus größten Anteil ausmachen. Für Grund- und Trinkwasser standen knapp 8 % der Gesamtdaten zur Verfügung. Weitere 40 % der Daten wurden im Kläranlagenab- und -zulauf sowie im Klärschlamm gemessen. 2 % der Datenbankeinträge beziehen sich auf Sedimente und die verbleibenden 3 % auf Böden, Wirtschaftsdünger und Schwebstoffe. Insgesamt konnten Messungen mit Arzneimittelpositivbefunden in der Umwelt für 71 Länder nachgewiesen werden. Obwohl die Mehrheit der Messungen auf industrialisierte Länder entfällt, ist ebenfalls ein ansteigender Trend von Messwerten in Entwicklungs- und Schwellenländern zu verzeichnen. Dies ist auch der in Abbildung 1 dargestellten Weltkarte zu entnehmen. Diese zeigt, dass besonders in Asien viele verschiedene Arzneimittel im Wasser nachgewiesen werden konnten, während die Anzahl der Messwerte in Afrika deutlich geringer ist. Generell kann vermerkt werden, dass auf allen Kontinenten die Anzahl der Positivbefunde mit der Anzahl der Messungen korreliert. Dies bedeutet für die Ergebnisse aus Abbildung 1, dass in den Ländern mit einer niedrigen Anzahl an Positivbefunden, z. B. Russland, auch immer wenige Messdaten vorliegen. In den industrialisierten Ländern, wo meist viele Messdaten erhoben werden, wie z. B. in Deutschland, liegen dementsprechend auch die meisten Positivbefunde vor.

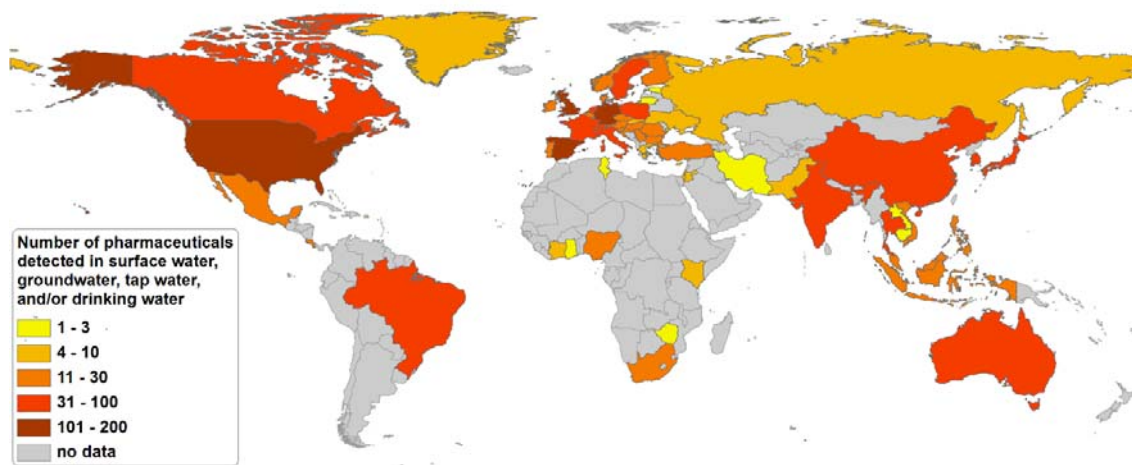


Abb. 1: Länderbasierte Darstellung der Anzahl von gemessenen pharmazeutischen Wirkstoffen in Oberflächengewässern, Grund- und Trinkwasser

Insgesamt wurden Umweltproben auf 713 verschiedene Wirkstoffe, inklusive 142 Transformationsprodukte, untersucht. Davon wurde 631, inklusive 127 Transformationsprodukte, in Konzentrationen über dem Detektionslimit nachgewiesen. 16 Wirkstoffe wurden in allen Regionen der Welt im Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser nachgewiesen. Am häufigsten, in insgesamt 50 Ländern, wurde der Schmerzmittel-Wirkstoff Diclofenac in

der Umwelt aufgefunden (s. Tabelle 1). In mindestens 45 Ländern wurden die Wirkstoffe Carbamazepin, Ibuprofen, Sulfamethoxazol und Naproxen nachgewiesen. Neben diesen Antiepileptika, Schmerzmitteln und Antibiotika wurden auch Hormone wie z. B. Ethinylestradiol – dem Wirkstoff der Verhütungspille – und Lipidsenker in allen UN Regionen detektiert.

Tab. 1: Anzahl von Ländern, in denen bestimmte pharmazeutische Wirkstoffe detektiert wurden, zusammengefasst in Regionalgruppen der Vereinten Nationen (WEOG = Western Europe and other industrialized countries group; EEG = Eastern Europe group; GRULAC = group of Latin American and Caribbean States)

Pharmazeutischer Wirkstoff	Wirkstoffgruppe	Anzahl der Länder mit Positivbefunden in Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser					
		Afrika	Asien	EEG	GRULAC	WEOG	Global
Diclofenac	Analgetika	3	8	13	3	23	50
Carbamazepin	Antiepileptika	3	6	13	2	24	48
Ibuprofen	Analgetika	3	8	10	2	24	47
Sulfamethoxazol	Antibiotika	5	9	10	2	21	47
Naproxen	Analgetika	2	8	10	2	23	45
Estron	Östrogene	1	10	6	2	16	35
Estradiol	Östrogene	2	9	4	2	17	34
Ethinylestradiol	Östrogene	1	8	3	2	17	31
Trimethoprim	Antibiotika	2	9	3	2	13	29
Paracetamol	Analgetika	1	6	4	3	15	29
Clofibrinsäure	Lipidsenker (Metabolit)	1	3	5	2	12	23
Ciprofloxacin	Antibiotika	1	5	1	2	11	20
Ofloxacin	Antibiotika	1	4	1	1	9	16
Estriol	Östrogene	1	1	2	1	10	15
Norfloxacin	Antibiotika	1	4	1	2	7	15
Acetylsalicylsäure	Analgetika	1	4	1	2	7	15

Mit Diclofenac, dem am häufigsten in der Umwelt gemessenen pharmazeutischen Wirkstoff, wurden weitere Untersuchungen zu mittleren gemessenen Konzentrationen und deren potenziell ökotoxikologischen Auswirkungen durchgeführt. Dazu wurden länderbasierte Mittelwerte der gemessenen Diclofenac-Konzentrationen berechnet und mit der Anzahl der Messwerte gewichtet. Hierbei konnten nur Werte aus der Datenbank verwendet werden, die sich auf Einzelmessungen oder Mittelwerte mit bekannter Gesamtprobenanzahl bezogen. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Abbildung 2 dargestellt. Die höchste Durchschnittskonzentration wurde mit 1,55 µg/l für Pakistan berechnet. Generell

kann in jeder UN Region in mindestens einem Land eine Durchschnittskonzentration von mindestens 0,1 µg/l gefunden werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass in jedem Land eine unterschiedliche Datengrundlage zur Verfügung stand und die Werte nicht direkt vergleichbar sind. So kann beispielsweise der hohe Wert von 0,164 µg/l für Deutschland als belastbar angesehen werden, da er auf 4137 Messungen beruht. Ein ähnlicher hoher Wert von 0,117 µg/l in Malaysia bezieht sich hingegen nur auf zwei Messwerte, wodurch die statistische Aussagekraft dieses Durchschnittswerts gering bleibt. Um die Umweltrisiken dieser Konzentrationen zu bewerten, werden gemessene Konzentrationen mit den sogenannten *Predicted-No-Effect-Concentrations* (PNECs) verglichen, die aus standardisierten Laborexperimenten mit Organismen, wie z. B. Daphnien, Fischen oder Pflanzen abgeleitet werden. Der PNEC für Diclofenac wurde auf 0,1 µg/l festgelegt (European Commission 2013). Aufgrund dieses niedrigen Wertes und dem häufigen Vorkommen in der Umwelt hat die Europäische Union Diclofenac (und zwei Östrogene) auf eine Beobachtungsliste gesetzt (EC COM(2011)876), um später über potenzielle Regulationen zur Verwendung des Stoffes zu entscheiden. Beim Vergleich des PNECs mit den mittleren länderbasierten Konzentrationen aus 50 Ländern (Abbildung 2) fällt auf, dass der PNEC in 34 Ländern überschritten wird. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf wahrscheinliche ökotoxikologische Gefährdungspotenziale an den jeweiligen Messstellen und stellt politischen Handlungsbedarf dar.

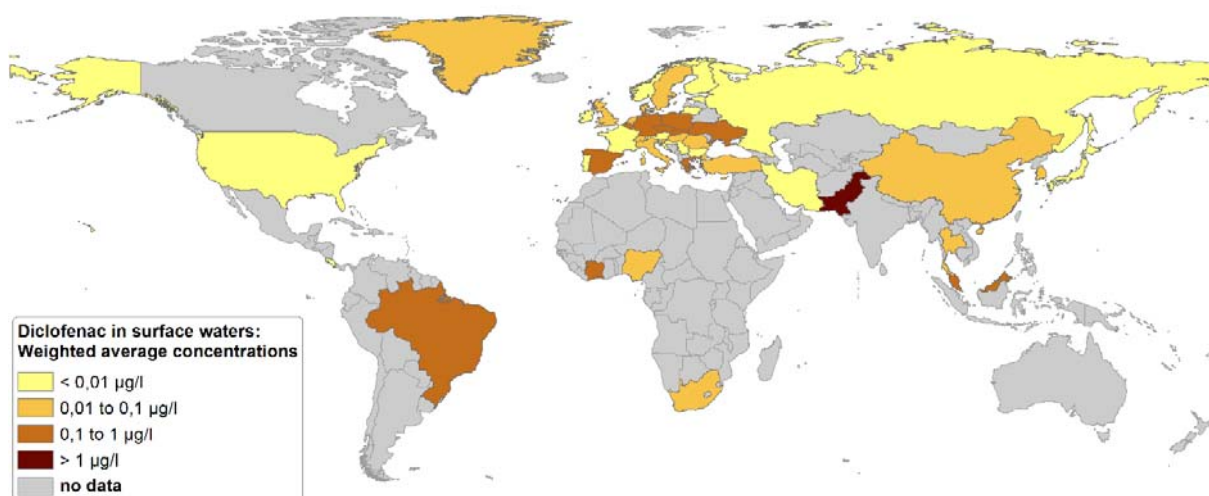


Abb. 2: Länderbasierte Darstellung der gewichteten Diclofenac-Durchschnittskonzentrationen im Oberflächengewässer.

Ein Beispiel für einen ökotoxikologischen Effekt von Diclofenac ist beschrieben in Oaks et al. (2004) und Green et al. (2006). Hier wird aufgezeigt, dass es aufgrund des Einsatzes von Diclofenac als Tierarzneimittel zu einem drastischen Rückgang der indischen Geierpopulationen seit 1996 gekommen ist. Aufgrund des religiösen Status wurden kranken Rindern hohe Dosen von Diclofenac verabreicht, um den Tieren Schmerzfreiheit bis zum Tod zu ermöglichen. Die toten Rinder wurden anschließend von Geiern gefressen,

wobei Diclofenac-Rückstände ebenfalls aufgenommen wurden. Da diese Geierspezies (Bengalengeier, *Gyps bengalensis*) empfindlich auf bereits sehr geringe Diclofenac-Mengen reagiert, führte dies zu tödlichen Leberschäden, was in Laborexperimenten nachvollzogen werden konnte.

Neben der globalen Verbreitung der Arzneimittel in der Umwelt sind ebenfalls die verschiedenen Eintragspfade von Interesse. Soweit es in den Literatur- und Datenquellen angegeben wurde, wurden diese Informationen ebenfalls in die Datenbank übertragen. Insgesamt konnten so für 13 % der Datenbankeinträge Eintragspfade zugewiesen werden. Dieser geringe Wert kann durch die große Anzahl von Messungen in Flüssen und Kläranlagen begründet werden, da sämtliche Eintragsquellen, die fluss- bzw. kanalaufwärts der Messstelle liegen, selten umfänglich bekannt sind. Bei den am häufigsten genannten Eintragsquellen handelt es sich um urbanes Abwasser. Aufgrund des großen urbanen Anteils an der Weltbevölkerung und da die meisten Arzneimittel im häuslichen Umfeld verwendet werden, erscheint diese Einschätzung als realistisch. Der zweithäufigste Eintragspfad, der in der Datenbank genannt wird, sind Krankenhäuser. Hier kann eine Vielzahl von Wirkstoffen in oftmals hohen Konzentrationen gefunden werden, was in Orias & Perrodin (2013) übersichtlich dargestellt wird. Krankenhäuser sind meist an die öffentliche Kanalisation angeschlossen und verfügen nur selten über eine eigene angepasste Kläranlage. Da kommunale Kläranlagen nicht für die Entfernung von pharmazeutischen Mikroschadstoffen konzipiert wurden, sind die Reinigungsraten oftmals gering. So können Mikroschadstoffe aus Krankenhäusern in Oberflächengewässer gelangen. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass sich Arzneimittelwirkstoffe bezüglich ihres Verhaltens in Kläranlagen und in der Umwelt deutlich voneinander unterscheiden, da sie unterschiedliche Sorptionskoeffizienten, Transformationskinetiken und Halbwertszeiten aufweisen. Der am dritthäufigsten genannte Eintragspfad ist die Tierzucht. Pharmazeutika werden hierbei beispielsweise als Fütterungsarzneimittel oder als Präparate zum Aufgießen oder Injizieren verwendet, um entweder Krankheiten zu behandeln oder Krankheiten vorzubeugen. Eine weitere Eintragsquelle, die lokal hohe Konzentrationen in der Umwelt erzeugen kann, sind pharmazeutische Produktionsstätten. In der Datenbank sind multiple Einträge zu Konzentrationen von Wirkstoffen, insbesondere Antibiotika, im mittleren bis hohen mg/L-Bereich in Oberflächengewässern erfasst (z. B. Larsson et al. (2007) und Fick et al. (2009)). Insbesondere in Entwicklungs- und Schwellenländern, in denen umweltbezogene Grenzwerte nur selten vorhanden oder durchgesetzt werden, wird über die höchsten Werte berichtet. Ein weiterer lokaler Eintragspfad ist die Aquakultur, für die insbesondere aus Asien viele Datenbankeinträge vorliegen. Hierbei wird die Fischzucht in Flüssen als besonders kritisch angesehen, da die Verdünnung, im Gegensatz zu Seen und Meeren, gering ist und flussabwärts gelegene Ökosysteme beeinträchtigt werden können.

Um die Belastungen der Umwelt mit Arzneimittelrückständen zu verringern, kommen zwei sich ergänzende Maßnahmenpakete in Betracht. Erstens können technologische

Maßnahmen ergriffen werden, um die Eliminationsraten in den Kläranlagen zu verbessern, wobei die Verwendung von Ozon und (Pulver-)Aktivkohle die besten Ergebnisse erzielen (Joss et al. 2005), auch hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Rechnung (Günthert & Rödel 2013). Beispielsweise plant die Schweiz aus diesem Grund ca. 100 ihrer 700 kommunalen Kläranlagen in den nächsten 25 Jahren aufzurüsten, umso mehr als 50 % des Gesamtabwasseraufkommens zu behandeln. Es wird prognostiziert, dass sich die Mikroschadstofffracht dadurch halbiert, bei einem Kostenaufwand von 1,2 Milliarden Schweizer Franken. Zweitens kann der Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen bereits an der Quelle reduziert werden, wobei eine Vielzahl von potenziellen Handlungsoptionen besteht. In vorausgegangenen Projektstudien wurden mögliche Handlungsoptionen vor allem im Hinblick auf die deutschen (START 2008) und europäischen Verhältnisse (BIO-IS 2013) untersucht. Eine Aufnahme von „Arzneimittel in der Umwelt“ als prioritäres Politikthema (emerging policy issues) im strategischen Ansatz für ein Internationales Chemikalienmanagement (SAICM) des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) könnte Akteur- und Sektor-übergreifende Handlungsstrategien auch in Schwellen- und Entwicklungsländern initiieren, die auf die freiwillige Verminderung und das Risikomanagement von Arzneistoffen in der Umwelt ausgerichtet sind. Dabei sind Handlungsoptionen derart auszugestalten, dass die Wirksamkeit und Verfügbarkeit von Arzneistoffen nicht in Frage gestellt wird, insbesondere in Ländern, in denen der Zugang zum Gesundheitssystem noch unzureichend ist. Dazu ist eine Zusammenarbeit verschiedener Akteure auf der globalen und der regionalen Ebene notwendig, u. a. internationaler Organisationen, nationaler Regierungen, Zulassungsbehörden, Arzneimittelhersteller, Ärzte, Apotheker, Patienten, Veterinärmediziner, Landwirte, Kläranlagenbetreiber, Entwicklungsdienste, Nichtregierungsorganisationen, Krankenversicherer, Wasserversorger und Forschungsinstitute. Zu den potenziellen Handlungsoptionen gehören Informationskampagnen für die Bevölkerung, aber auch für Ärzte, Pharmaproduzenten und Regierungen. Des Weiteren wird diskutiert ob über Verpackungsgröße, Verschreibungspflicht, offizielle Entsorgungsstellen, Entwicklung umweltfreundlicher Medikamente und viele weitere Möglichkeiten der Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Umwelt verringert werden kann.

Generell sind jedoch weitere Daten, insbesondere aus Entwicklungs- und Schwellenländern sowie Osteuropa nötig um belastbare, globale Aussagen zum Vorkommen von Arzneimitteln in der Umwelt zu treffen. Dies kann durch Monitoringkampagnen oder alternative Modellansätze erreicht werden, die auf Basis des regionalen Arzneimittelverbrauchs für ein Flusseinzugsgebiet, Konzentrationen von Arzneimittelwirkstoffen in der Umwelt ableiten.

Der vollständige Abschlussbericht sowie die umfangreiche Datenbank können unter <https://www.umweltbundesamt.de/en/database-pharmaceuticals-in-the-environment-figures-0>

heruntergeladen werden. Zudem enthält aus der Beek et al. (2016) weitere Auswertungen, wie beispielsweise stoffspezifische Durchschnitts- und Maximalkonzentrationen für alle untersuchten Umweltkompartimente.

## 1 Referenzen

aus der Beek, T., Weber, F.-A., Bergmann, A., Hickmann, S., Ebert, I., Hein, A. and Küster, A. (2016), Pharmaceuticals in the environment—Global occurrences and perspectives. *Environ Toxicol Chem*, 35: 823–835. doi:10.1002/etc.3339.

Bergmann, A., Fohrmann, R., Weber, F.-A. (2011): „Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln.“ UBA Texte 66, Umweltbundesamt Dessau, Deutschland, 108pp.

BIO-IS (2013): Study on the environmental risks of medicinal products. Final Report on behalf of the Executive Agency for Health and Consumers. BIO Intelligence Service, Paris, 12. December 2013.

Bu, Q., B. Wang, J. Huang, S. Deng und G. Yu (2013). “Pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China: A review.” *Journal of Hazardous Materials* Vol. 262, 189–211.

Calisto, V. and V. I. Esteves (2009). “Psychiatric pharmaceuticals in the environment.” *Chemosphere* 77 (10): 1257-1274.

Daghrir, R. und P. Drogui (2013). “Tetracycline antibiotics in the environment: a review.” *Environmental Chemistry Letters* 11 (3): 209-227.

European Commission (2013). “Diclofenac EQS dossier.” 26 pp. Available at <https://circabc.europa.eu/sd/a/d88900c0-68ef-4d34-8bb1-baa9af220afd/Diclofenac%20EQS%20dossier%202011.pdf> (last accessed on Jan 26th, 2015).

Fick, J., Söderström, H., Lindberg, R., Phan, C., Tysklind, M., Larsson, J., (2009) Contamination of surface, ground, and drinking water from pharmaceutical production. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28 (12), 2522-2527.

González, S., R. López-Roldán and J.-L. Cortina (2012). “Presence and biological effects of emerging contaminants in Llobregat River basin: A review.” *Environmental Pollution* 161 (0): 83-92.

Green, R. E., M. A. Taggart, D. Das, D. J. Pain, C. Sashi Kumar, A. A. Cunningham und R. Cuthbert (2006). “Collapse of Asian vulture populations: risk of mortality from residues of the veterinary drug diclofenac in carcasses of treated cattle.” *Journal of Applied Ecology* 43 (5): 949-956.

Günther, F.W. und S. Rödel (2013). „Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen.“ Bericht der Universität der Bundeswehr München, Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik; 176 pp.

Hughes, S. R., P. Kay und L. E. Brown (2012). "Global Synthesis and Critical Evaluation of Pharmaceutical Data Sets Collected from River Systems." *Environmental Science & Technology* 47 (2): 661-677.

Joss A., Keller E., Alder A.C., Göbel A., McArdell C.S., Ternes T.A., Siegrist H. (2005). "Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment." *Water Research* 39 (14), 3139–315.

JRC – Joint Research Center (2012). "FATE SEES -Results of a Pan - European Snapshot of randomly taken sewage sludge sample." Presentation available (accessed on Dec 11th, 2014) at

[http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/FATE\\_SEES\\_pres.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/FATE_SEES_pres.pdf).

KNAPPE (2008). "Knowledge and Need Assessment on Pharmaceutical Products in Environmental Waters – Final Report", 43 pp.

[http://environmentalhealthcollaborative.org/images/KNAPPE\\_REPORT\\_FINAL.pdf](http://environmentalhealthcollaborative.org/images/KNAPPE_REPORT_FINAL.pdf).

Lapworth, D. J., N. Baran, M. E. Stuart und R. S. Ward (2012). "Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence." *Environmental Pollution* 163 (0): 287-303.

Larsson, J.; de Pedro, C.; Paxeus, N. (2007). "Effluent from drug manufactures contains extremely high levels of pharmaceuticals" .*Journal of Hazardous Materials* 148:751–755.

Oaks, J.L., Gilbert, M., Virani, M.Z., Watson, R.T., Meteyer, C.U., Rideout, B.A., Shivaprasad, H.L., Ahmed, S., Chaudry, M.J.I., Arshad, M., Mahmood, S., Ali, A. und Khan, A.A. (2004). "Diclofenac residues as the cause of population decline of vultures in Pakistan". *Nature*, 427, 630–633.

Orias, F. und Y. Perrodin (2013). "Characterisation of the ecotoxicity of hospital effluents: A review." *Science of The Total Environment* 454–455 (0): 250-276.

Petrovic, M., M. D. Hernando, M. S. Diaz-Cruz und D. Barcelo (2005). "Liquid chromatography-tandem mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in environmental samples: a review." *Journal of Chromatography A* 1067 (1-2): 1-14.

START (2008): Humanarzneimittelwirkstoffe: Handlungsmöglichkeiten zur Verringerung von Gewässerbelastungen. Eine Handreichung für die Praxis. Ergebnisse zum Forschungsprojekt start. Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH, Frankfurt am Main. [www.start-project.de/downloads/start.pdf](http://www.start-project.de/downloads/start.pdf).

Ternes, T., Janex-Habibi, M.-L., Knacker, T., Kreuzinger, N., Siegrist, H (2004). "Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse." Project summary available (accessed on Dec 11<sup>th</sup>, 2014) at [http://ec.europa.eu/research/endocrine/pdf/poseidon\\_final\\_report\\_summary\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/endocrine/pdf/poseidon_final_report_summary_en.pdf).



### **Anschriften der Verfasser**

Tim aus der Beek  
IWW Zentrum Wasser  
Mülheim an der Ruhr  
t.ausderbeek@iww-online.de

Frank-Andreas Weber  
Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

Axel Bergmann  
RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH, Mülheim an der Ruhr

Silke Hickmann  
Ina Ebert  
Anette Küster  
Arne Hein  
Umweltbundesamt, Dessau