



Internationale Managementstrategien für organische Spurenstoffe in Gewässern und unterstützende weitergehende analytische Techniken

Stefan Bieber (s.bieber@tum.de), Thomas Letzel (t.letzel@tum.de), Jörg E. Drewes (jdrewes@tum.de)

Zusammenfassung

Die Auswirkungen von organischen Spurenstoffen in Gewässern auf Umwelt und Gesundheit können bislang nicht umfassend eingeschätzt werden. Einige Nationen haben unterschiedliche und scheinbar wenig vergleichbare Strategien zum Umgang mit diesen Stoffen etabliert. In Rahmen einer Dissertation wurden diese Strategien detailliert kategorisiert und bewertet. Analytische Nachweistechniken spielen in allen Strategien eine zentrale Rolle in der Bewertung der Wasserqualität. Da die aktuell verwendeten Ansätze nur bedingt zum Nachweis polarer Verbindungen geeignet sind, wurden weitergehende Techniken untersucht, die einen breiteren Blick auf die Gewässerqualität erlauben. Durch umfassendere Spurenstoffstrategien und weitergehende analytische Techniken kann der Schutz von Umwelt und Gesundheit deutlich erhöht werden.

Einleitung

Das Auftreten von organischen Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt stellt eine weltweite Herausforderung dar. In der Europäischen Union (EU) sind bis zu 70.000 verschiedene chemische Substanzen in Gebrauch und eine Vielzahl dieser Verbindungen kann in die aquatische Umwelt gelangen (Brack et al., 2017; Schwarzenbach et al., 2006; Loos et al., 2009). Diese Substanzen spiegeln das gesamte Spektrum von Alltagschemikalien, Pharmaka, Hormonen, Pestiziden, aber auch Industriechemikalien wider. Zusätzlich werden über verschiedenste Prozesse auch Transformationsprodukte oder Metabolite gebildet, die ebenfalls in Gewässer gelangen können. Obwohl die Umweltkonzentrationen im µg/L- oder ng/L-Bereich liegen, sind negative Auswirkungen dieser Substanzen auf Umwelt und Gesundheit nicht auszuschließen. Für einige Substanzklassen wie Hormone konnten bereits Effekte durch sehr geringe Konzentrationen nachgewiesen werden (Vonier et al., 1996; Kidd et al., 2007). Durch das zeitgleiche Auftreten mehrerer Substanzen in Gewässern können sich zusätzliche und schwer vorhersehbare Mischungseffekte ergeben (Faust et al., 2001; Brian et al., 2005).

Die Eintrittswege organischer Spurenstoffe in die aquatische Umwelt sind vielfältig. Dazu zählen Punktquellen, wie die Abläufe von kommunalen oder Industriekläranlagen, aber auch weniger präzise lokalisierbare Eintrittspfade, sogenannte diffuse Quellen (Eggen et al., 2014). Hierzu gehören die Abläufe von urbanen oder landwirtschaftlichen Flächen, Mischwasserentlastungen bei Starkregenereignissen, Leckagen, sowie atmosphärische Deposition (Neumann et al., 2002; Wittmer et al., 2010). Da Gewässerkörper zur Gewinnung von Trinkwasser genutzt werden (geplante oder *defacto* Wasserwiederverwendung), können Spurenstoffe auch eine Gefahr für die menschliche

Gesundheit darstellen (Malaj et al., 2014; Rice und Westerhoff, 2014; Drewes und Khan, 2015; Rice et al., 2015).

Auf Grund potentieller Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch organische Spurenstoffe in Gewässern laufen derzeit in vielen Ländern Überlegungen, wie Gefahren im Zusammenhang mit Spurenstoffen beherrscht werden können. In einigen dieser Länder sind auch bereits Strategien beschlossen und umgesetzt worden. Die Zielsetzungen und umgesetzten Maßnahmen unterscheiden sich dabei sehr stark. Dies liegt daran, dass individuelle Strategien meist auf örtliche Gegebenheiten, vorherrschende Belastungssituationen, oder geographische und ökonomische Situationen angepasst sind. Im Zentrum von Strategien stehen die Umwelt und/oder die menschliche Gesundheit mit Fokus auf den Schutz von Gewässerkörpern und/oder des Trinkwassers. Dabei können Strategien auf die Kontrolle weniger, bekannter und toxikologisch bewerteter Substanzen setzen, oder allgemein die Emission von Spurenstoffen verringern/vermeiden. Im Spektrum der betrachteten Spurenstoffe bestehen teils große Unterschiede. Innerhalb der Gruppe der organischen Spurenstoffe gibt es einerseits bekannte und gut charakterisierte, toxikologisch bewertete und teils regulierte Substanzen, andererseits aber auch nicht (ausreichend) bewertete oder unbekannte Substanzen. Darunter fallen auch neu identifizierte Verbindungen (emerging contaminants) oder Substanzen, bei denen neue Informationen Bedenken zu deren Umweltrelevanz hervorrufen (contaminants of emerging concern), wozu auch Transformationsprodukte oder Metabolite zählen (Sauvé und Desrosiers, 2014).

Um die grundlegenden Paradigmen von Managementstrategien für organische Spurenstoffe zu identifizieren, wurden die Konzepte der Vereinigten Staaten von Amerika (USA), Australien, der EU, mit Fokus auf Deutschland und der Schweiz untersucht. Die Flächen, Bevölkerungsdichten, klimatischen Bedingungen und wirtschaftlichen Voraussetzungen der verschiedenen Staaten und Regionen sind kaum vergleichbar. Vielmehr greifen die verschiedenen Strategien unterschiedliche Voraussetzungen auf.

Bestehende Ansätze

In den **USA** gibt es zwei unabhängige Verordnungen für den Schutz von Trinkwasser und Gewässerkörpern. Der *Safe Drinking Water Act* (SDWA von 1974, USEPA 2014a) regelt die Trinkwasserqualität und nutzt hierfür rechtlich verbindliche Grenzwerte und nicht verbindliche Empfehlungswerte für bekannte und gefährliche Substanzen. Diese Werte werden aus toxikologischen Studien abgeleitet und gelten bundesweit. Der Prozess zur Identifizierung von neuen gefährlichen Substanzen, ist streng reglementiert und wird in regelmäßigen

Abständen durchlaufen um stets neu auftretende Substanzen mit zu betrachten (Candidate Contaminant List [CCL] und Unregulated Contaminant Monitoring Rule [UCMR]) (USEPA, 2009, 2012). Trinkwasserversorger sind dazu verpflichtet, die vorgegebenen Grenzwerte einzuhalten und ggf. geeignete Verminderungsmaßnahmen einzusetzen. Der *Clean Water Act* (CWA von 1972, USEPA 2014b) regelt die Wasserqualität von Gewässern über toxikologisch abgeleitete Grenzwerte für bekannte und gefährliche Substanzen. Da diese Werte sowohl den Schutz der Umwelt, wie auch der menschlichen Gesundheit gewährleisten sollen, können die abgeleiteten Werte teils sehr niedrig sein (bspw. für bioakkumulierende Substanzen). Die Ableitung von Grenzwerten erfolgt unabhängig vom SDWA und die Kriterien sind nicht harmonisiert, weshalb Grenzwerte einer Substanz im CWA und SDWA stark voneinander abweichen können. Bei Gewässerkörpern, deren Wasserqualität nicht die Vorgaben des CWA erfüllt, werden verbindliche Emissionslimits definiert. Diese geben die Mengen an Kontaminanten an, die täglich noch in das Gewässer emittiert werden dürfen.

Australien hat in den letzten beiden Dekaden unter extremen Wetterphänomenen gelitten. Lange Trockenphasen hatten zeitweise zu einem drastischen Rückgang der Trinkwasserreserven geführt und die Trinkwasserversorgung stark unter Druck gesetzt. Aus diesem Grund wurden alternative Konzepte zur Trinkwassergewinnung untersucht. Neben der Meerwasserentsalzung wurde auch die gezielte Wasserwiederverwendung evaluiert. Um das Risiko für die menschliche Gesundheit durch organische Spurenstoffe zu kontrollieren, wurden Empfehlungen zur Wasserwiederverwendung erstellt (NWQMS Phase 1, 2006; NWQMS Phase 2, 2008). Diese empfehlen die Etablierung eines HACCP (hazard analysis and critical control points) Konzeptes, um die Gefahren durch Spurenstoffe zu reduzieren. Hierfür werden kritische Punkte im Wasserwiederverwendungsprozess identifiziert und anschließend Maßnahmen eingeführt, die an diesem Kontrollpunkt das Risiko minimieren. Zur Absicherung werden häufig mehrere Maßnahmen und eine engmaschige Überwachung etabliert (Mehrbarrieren-Konzept). Für gesundheitsrelevante Spurenstoffe werden toxikologisch abgeleitete Empfehlungswerte vorgeschlagen.

In der **EU** existiert ein umfassender gesetzlicher Rahmen, der die Gewässer- und Wasserqualität regelt. Das Zentrum bildet die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, European Commission, 2000), die es zum Ziel hat, die Gewässerqualität kontinuierlich zu verbessern, bis keinerlei menschlicher Einfluss mehr in den Gewässerkörpern erkennbar ist. Um dies zu erreichen, wird der ökologische und chemische Status von Gewässerkörpern überwacht. Die Verantwortlichkeit zur Verbesserung der Gewässerqualität liegt bei den Mitgliedsstaaten. Diese haben (teils transnationale) Flussgebietsabschnitte definiert, auf deren Basis Pläne etabliert werden, die langfristig die Gewässerqualität verbessern sollen. Organische Spurenstoffe tragen zum chemischen Status bei und basierend auf der

Grundidee der WRRL soll deren Emission soweit möglich vermieden werden. Für bekannte, gefährliche Substanzen existieren jedoch EU-weit verbindliche Grenzwerte. Die Mitgliedsstaaten können zusätzlich flussgebietspezifische Substanzen definieren, deren Konzentrationen überwacht werden müssen. In der Bundesrepublik Deutschland wurden die EU-Vorgaben in das Wasserhaushaltsgesetz und die Oberflächengewässerverordnung integriert. Zusammen mit weiteren (Tochter-) Richtlinien versucht die EU die Emission von organischen Substanzen in die Umwelt von der Produktion über die Verwendung bis zur Entsorgung zu regeln und dadurch sowohl die aquatische Umwelt wie auch die menschliche Gesundheit zu schützen (European Commission, 2006, 2010).

Die **Schweiz** setzt seit 2016 eine Strategie um, die vorsieht die Emission von Spurenstoffen landesweit um ca. 50% zu senken. Dafür werden 100 der 700 Schweizer Kläranlagen mit weitergehender Abwasserbehandlung ausgerüstet (Eggen et al., 2014). Zu Beginn werden vor allem Aktivkohlebehandlung und Ozonierung eingesetzt. Sollten im weiteren Verlauf der Umsetzung effizientere Maßnahmen verfügbar sein, so sollen diese auch in Betracht gezogen werden. Die Kosten für Bau und Unterhalt werden über das Verursacherprinzip von den Abwasserproduzenten getragen. Diese Maßnahmen sollen dem Schutz der Umwelt und der Trinkwasserressourcen dienen.

	Betrachtete Verordnung	Primärer Fokus	Toxizitäts-basierte Elemente	Emissions-vermeidende Elemente
	Clean Water Act	Aquatisches Leben	✓	✗
	Safe Drinking Water Act	Menschliche Gesundheit	✓	✗
	Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Water	Umwelt	✓	✗
	Drinking Water Guidelines	Menschliche Gesundheit	✓	✗
	Guidelines for Water Recycling	Menschliche Gesundheit	✓	✗
	Gewässerschutzgesetz	Umwelt	✗	✓
	Wasserrahmenrichtlinie	Umwelt	✓	✓

Abb 1: Zusammenstellung der betrachteten Verordnungen aus den untersuchten Ländern/Regionen, sowie die Kategorisierung der Ansätze nach Toxizitäts-basierten und Emissions-vermeidenden Elementen.

Grundlegende Paradigmen

Auch wenn die betrachteten Strategien wenig vergleichbar erscheinen, lassen sich teils einheitliche Paradigmen identifizieren (Bieber et al., 2018a). Einerseits gibt es Strategien, die stark darauf fokussieren, die Risiken durch bekannte und toxikologisch bewertete Substanzen mit Hilfe von Grenzwerten einzuschränken (Toxizitäts-basierte Ansätze). Andererseits gibt es auch Ansätze, die die Emission von Spurenstoffen in die aquatische Umwelt vermeiden möchten und dadurch die Umweltkonzentrationen von Spurenstoffen nachhaltig senken (Emission-vermeidende Ansätze). Eine Kombination von Toxi-

zitäts-basierten und Emissions-vermeidendenden Ansätzen ist möglich und wird auch eingesetzt (Abbildung 1).

In den USA und Australien steht der Schutz der menschlichen Gesundheit im Fokus. Durch die Anwendung von Grenzwerten für bekannte, gefährliche Substanzen, wird ein ausschließlich Toxizitäts-basierter Ansatz verfolgt. Dieser bietet den Vorteil, dass das Risiko für den entsprechenden Endpunkt (Umwelt oder menschliche Gesundheit) durch den Vergleich von gemessenen Substanzkonzentrationen und zulässigen Grenzwerten direkt bestimmt werden kann. Die Überschreitung eines Grenzwertes führt in der Regel zur Etablierung von geeigneten Gegenmaßnahmen. Dadurch kann das Risiko für den jeweiligen Endpunkt durch die entsprechende Substanz stark eingeschränkt werden. Treten neue potentiell gefährliche Substanzen auf, müssen diese stets toxikologisch bewertet werden. Diese zeit- und ressourcenintensive Bewertung ist aber nur für eine begrenzte Anzahl von Spurenstoffen sinnvoll und möglich. Somit verbleibt immer ein Restrisiko durch neue oder unbekannte Substanzen, sowie Transformationsprodukte. Hier weisen Emissions-vermeidende Ansätze einen Vorteil auf. Die allgemeine Einschränkung der Emission von Spurenstoffen führt zu einer Verringerung ihrer Umweltkonzentrationen und senkt dadurch auch die möglichen Risiken für Umwelt und Gesundheit. In der Schweiz ist beispielsweise beabsichtigt, die Spurenstofffracht landesweit um 50% zu senken, was eine erhebliche Verbesserung der Gewässerqualität bedeuten würde. Die ausschließliche Fokussierung auf die Emissionsreduzierung kann aber auch zu einer Unterschätzung der generellen Gesundheitsrisiken durch Substanzen mit sehr niedrigen Wirkungsschwellen (Hormone, etc.) oder durch gentoxische Verbindungen führen. Um dem entgegen zu wirken, können die Umweltkonzentrationen solcher Substanzen zusätzlich überwacht werden. Durch die parallele Anwendung von Toxizitäts-basierten und Emissions-vermeidendenden Ansätzen werden die Vorteile beider Strategien kombiniert. Die Risiken durch bekannte gefährliche Substanzen werden über toxikologisch abgeleitete Grenzwerte kontrolliert und die Risiken durch unbekannte Substanzen mittels genereller Emissionsreduktion oder -vermeidung eingeschränkt. Diese Kombination von Ansätzen ermöglicht einen nachhaltigen Schutz von Umwelt und Gesundheit und entsprechende Strategien können sowohl für Substanzen eingesetzt werden, die über Punktquellen emittiert werden, wie auch für Spurenstoffe, die über diffuse Quellen in die Umwelt gelangen.

Bedeutung der Analytik

Um den Erfolg der implementierten Strategien zu verfolgen und die Umweltkonzentrationen von Spurenstoffen überwachen zu können, ist grundsätzlich eine schlagkräftige Analytik notwendig (Bieber et al. 2016). Da gerade polare und sehr polare Substanzen in der aquatischen Umwelt zu erwarten sind, ist die klassische Umkehrphasenchromatographie nur bedingt zum Nachweis von Spurenstoffen geeignet (Reemtsma et al. 2017). Als alternative Trenntechniken wurden eine serielle Kopplung von Umkehrphasenchromatographie und hydrophiler Interaktion-Flüssigphasenchromatographie (HILIC) sowie super-

kritische Fluidchromatographie untersucht (Bieber und Letzel, 2015; Bieber et al. 2017). Beide Techniken erweitern das Spektrum an trennbaren Substanzen signifikant in Richtung höherer Polarität, wobei weiterhin auch unpolare Substanzen nachgewiesen werden können. Die Besonderheit ist der hohe Grad an Orthogonalität zwischen den beiden Techniken (Bieber et al. 2018b). Dies erleichtert die Identifikation neuer Verbindungen in Gewässerproben deutlich und unterstützt die individuellen Strategien zum Umgang mit organischen Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt nachhaltig. Da grundsätzlich nur Substanzen überwacht werden können, die auch analytisch nachweisbar sind, muss kontinuierlich daran gearbeitet werden, das Spektrum an nachweisbaren Substanzen zu erhöhen. Die beiden untersuchten Techniken können stark zu einer umfassenderen Bewertung des Spurenstoffauftretens beitragen.

Danksagung

Besonderer Dank geht an Tanja-Rauch Williams (Carollo Engineers, Inc.), Sonja Dagnino und Shane A. Snyder (University of Arizona), sowie alle anderen Projektpartner für deren Beiträge. Die Autoren danken der Water Research Foundation für die Finanzierung des Forschungsprojektes WRF #4494, in dessen Rahmen diese Studie durchgeführt wurde.

Die Dissertation zu diesem Artikel ist frei unter <https://mediatum.ub.tum.de/1380491> verfügbar.

Stefan Bieber dankt der Wasserchemischen Gesellschaft der GDCh für die Auszeichnung der Dissertation mit dem Promotionspreis auf dem Gebiet der Wasserchemie 2018 – gefördert durch die Walter-Kölle-Stiftung.

Literatur

- Bieber, S., Letzel, T., 2015. Superkritische Fluidchromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (SFC-MS): Simultane Untersuchungsmethode für polare und unpolare organische Moleküle in Wasserproben. *Gesellschaft Dtsch. Chem. Mitteilungen der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 11–16.
- Bieber, S., Rauch-Williams, T., Drewes, J.E., 2016. An Assessment of International Management Strategies for CECs in Water, in: Drewes, J.E., Letzel, T. (Eds.), *Assessing Transformation Products of Chemicals by Non-Target and Suspect Screening – Strategies and Workflows Volume 1*. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 11–22. doi:10.1021/bk-2016-1241.ch002
- Bieber, S., Greco, G., Grosse, S., Letzel, T., 2017. RPLC-HILIC and SFC with mass spectrometry: polarity-extended organic molecule screening in environmental (water) samples. *Anal. Chem.* 89, 7907–7914. doi:10.1021/acs.analchem.7b00859
- Bieber, S., Snyder, S. A., Dagnino, S., Rauch-Williams, T., Drewes, J. E., 2018a. Management strategies for trace organic chemicals in water – A review of international approaches. *Chemosphere* 195, 410-426. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.100>

- Bieber, S., Letzel, T., 2018b. Orthogonal separation techniques to analyse (very) polar molecules: SFC vs. RPLC-HILIC. LCGC - in press
- Brack, W., Dulio, V., Ågerstrand, M., Allan, I., Altenburger, R., Brinkmann, M., Bunke, D., Burgess, R.M., Cousins, I., Escher, B.I., Hernández, F.J., Hewitt, L.M., Hilscherová, K., Hollender, J., Hollert, H., Kase, R., Klauer, B., Lindim, C., Herráez, D.L., Miège, C., Munthe, J., O'Toole, S., Posthuma, L., Rüdél, H., Schäfer, R.B., Sengl, M., Smedes, F., van de Meent, D., van den Brink, P.J., van Gils, J., van Wezel, A.P., Vethaak, A.D., Vermeirssen, E., von der Ohe, P.C., Vrana, B., 2017. Towards the review of the European Union Water Framework Directive: Recommendations for more efficient assessment and management of chemical contamination in European surface water resources. *Sci. Tot. Environ.* 576, 720–737. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.104
- Brian, J. V., Harris, C.A., Scholze, M., Backhaus, T., Booy, P., Lamoree, M., Pojana, G., Jonkers, N., Runnalls, T., Bonfá, A., Marcomini, A., Sumpter, J.P., 2005. Accurate prediction of the response of freshwater fish to a mixture of estrogenic chemicals. *Environ. Health Perspect.* 113, 721–728. doi:10.1289/ehp.7598
- Drewes, J.E., Khan, S.J., 2015. Contemporary design, operation, and monitoring of potable reuse systems. *J. Water Reuse Desalin.* 5, 1–7. doi:10.2166/wrd.2014.148
- Eggen, R.I.L., Hollender, J., Joss, A., Schärer, M., Stamm, C., 2014. Reducing the discharge of micropollutants in the aquatic environment: The benefits of upgrading wastewater treatment plants. *Environ. Sci. Technol.* 48, 7683–7689. doi:10.1021/es500907n
- European Commission, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for the Community action in the field of water policy. *Official J. Europ. Union*, L327/1.
- European Commission, 2006. Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/4. *Official J. Europ. Union*, L396/1, 1–849.
- European Commission, 2010. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official J. Europ. Union*, L334/17, 1–103.
- Faust, M., Altenburger, R., Backhaus, T., Blanck, H., Boedeker, W., Gramatica, P., Hamer, V., Scholze, M., Vighi, M., Grimme, L.H., 2001. Predicting the joint algal toxicity of multi-component s-triazine mixtures at low-effect concentrations of individual toxicants. *Aquat. Toxicol.* 56, 13–32. doi:10.1016/S0166-445X(01)00187-4
- Kidd, K.A., Blanchfield, P.J., Mills, K.H., Palace, V.P., Evans, R.E., Lazorchak, J.M., Flick, R.W., 2007. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 104, 8897–8901. doi:10.1073/pnas.0609568104
- Loos, R., Gawlik, B.M., Locoro, G., Rimaviciute, E., Contini, S., Bidoglio, G., 2009. EU-wide survey of polar organic persistent pollutants in European river waters. *Environ. Pollut.* 157, 561–568. doi:10.1016/j.envpol.2008.09.020
- Malaj, E., von der Ohe, P.C., Grote, M., Kühne, R., Mondy, C.P., Usseglio-Polatera, P., Brack, W., Schäfer, R.B., 2014. Organic chemicals jeopardize the health of freshwater ecosystems on the continental scale. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 9549–9554. doi:10.1073/pnas.1321082111
- Neumann, M., Schulz, R., Schäfer, K., Müller, W., Mannheller, W., Liess, M., 2002. The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. *Water Res.* 36, 835–842. doi:10.1016/S0043-1354(01)00310-4
- NWQMS Phase 1, 2006. National Water Quality Management Strategy (NWQMS). Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 1). Canberra.
- NWQMS Phase 2, 2008. National Water Quality Management Strategy (NWQMS). Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (Phase 2). Argumentation of drinking water supplies. Canberra.
- Reemtsma, T., Berger, U., Arp, H.P.H., Gallard, H., Knepper, T.P., Neumann, M., Quintana, J.B., Voogt, P. De, 2016. Mind the gap: persistent and mobile organic compounds - Water contaminants that slip through. *Environ. Sci. Technol.* 50, 10308–10315. doi:10.1021/acs.est.6b03338
- Rice, J., Via, S.H., Westerhoff, P., 2015. Extent and impacts of unplanned wastewater reuse in US rivers. *J. Am. Water Works Assoc.* 107, E571–E581. doi:10.5942/jawwa.2015.107.0178
- Rice, J., Westerhoff, P., 2015. Spatial and temporal variation in de facto wastewater reuse in drinking water systems across the U.S.A. *Environ. Sci. Technol.* 49, 982–989. doi:10.1021/es5048057
- Sauvé, S., Desrosiers, M., 2014. A review of what is an emerging contaminant. *Chem. Cent. J.* 8, 15–21. doi:10.1186/1752-153X-8-15
- Schwarzenbach, R.P., Escher, B.I., Fenner, K., Hofstetter, T.B., Johnson, C.A., von Gunten, U., Wehrli, B., 2006. The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science* 313, 1072–1077. doi:10.1126/science.1127291
- USEPA, 2009. Drinking Water Contaminant Candidate List 3. *Fed. Regist.* 74, 51850–51862. doi:10.2105/AJPH.65.9.986
- USEPA, 2012. Unregulated Contaminant Monitoring Program <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/ucmr/>
- USEPA, 2014a. Safe Drinking Water Act <http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/index.cfm>
- USEPA, 2014b. Clean Water Act <http://www2.epa.gov/laws-regulations/summary-clean-water-act>
- Vonier, P.M., Crain, D.A., McLachlan, J.A., Guillette, L.J., Arnold, S.F., 1996. Interaction of environmental chemicals with the estrogen and progesterone receptors from the oviduct of the American alligator. *Environ. Health Perspect.* 104, 1318–1322.
- Wittmer, I.K., Bader, H.-P., Scheidegger, R., Singer, H., Lück, A., Hanke, I., Carlsson, C., Stamm, C., 2010. Significance of urban and agricultural land use for biocide and pesticide dynamics in surface waters. *Water Res.* 44, 2850–2862. doi:10.1016/j.watres.2010.01.030

Korrespondenzadresse

Dr. Stefan Bieber
 Analytisches Forschungsinstitut für Non-Target Screening (AFIN-TS) GmbH
 Am Mittleren Moos 48
 86167 Augsburg
 Tel.: 0176 24840628
 E-Mail: s.bieber@afin-ts.de
 Web: www.afin-ts.de