

# oekotoxzentrum news

1. Ausgabe Oktober 2010

Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie | Eawag-EPFL



Engagiert für Ökotoxikologie _____	3
Bewertung von Biotests für hormonaktive Substanzen _____	4
Wirkungsbasierte Analytik für die ökotoxikologische Beurteilung _____	6
Boden-Ökotoxikologie in der Schweiz ____	8
Stark in der Weiterbildung _____	9
Kurzmeldungen aus dem Oekotoxzentrum _____	10
Ökotoxikologie anderswo _____	12



## Editorial

# Wichtige Drehscheibe in der Ökotoxikologie



Prof. Dr. Rik Eggen; Stv. Direktor der Eawag, Mitglied des Strategischen Leitungsgremiums, Co-Leiter des Oekotoxentrums bis September 2010

Das Schweizerische Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL (Oekotoxzentrum) wurde im Auftrag des ETH-Rats etabliert und im Oktober 2008 eingeweiht. Die Anforderungen an das Zentrum, in einem Bundesratsbeschluss festgehalten, waren gross. Die Erwartungen der Praxis und ihre Unterstützung ebenfalls. Heute, nur knapp zwei Jahre später, lebt das Zentrum von einem hochmotivierten und qualifizierten Team von Mitarbeitenden, das es möglich macht, eine Vielzahl an Projekten, Weiterbildungsveranstaltungen und Beratungsmandaten mit hoher Qualität durchzuführen. Auf Seite 3 lernen Sie das Team näher kennen; seit dem 1. September 2010 steht es unter der Leitung von Frau Dr. Inge Werner.

Mittlerweile bearbeitet das Oekotoxzentrum ein breites Portfolio an umsetzungsorientierten Forschungsprojekten in enger Zusammenarbeit mit Partnern aus Behörden, Industrie und Wissenschaft. In diesen Projekten entwickelt das Zentrum einerseits wissenschaftlich fundierte Konzepte, um die

Risiken von Chemikalien besser erkennen, bewerten und minimieren zu können. Andererseits analysiert es bestehende Probleme und sucht nach Lösungen. In diesem Heft stellen wir einige unserer Projekte vor und erläutern auch die Hintergründe dazu (Seiten 4 bis 8, Seiten 10,11).

Eine weitere Kernaufgabe des Zentrums ist das Garantieren einer praxisnahen Aus- und Weiterbildung im Bereich Ökotoxikologie. Das Zentrum hat schon zahlreiche Veranstaltungen durchgeführt, die von den Teilnehmenden – gemäss Rückmeldungen – geschätzt wurden, und ein Aus- und Weiterbildungs-konzept für die kommenden Jahre erarbeitet (Seite 9). Es ist uns bewusst, dass die Grenzen zwischen Wasser und Sediment, Boden und Luft, Mensch und Umwelt manchmal willkürlich verlaufen. Daher ist es uns wichtig, Projekte und Weiterbildungsveranstaltungen überall dort ganzheitlich zu betrachten, wo es möglich ist. Ein Beispiel hierfür ist die Zusammenarbeit zwischen dem Oekotoxzentrum und dem Zentrum für angewandte Humantoxikologie (SCAHT), die für beide Zentren eine grosse Bedeutung hat und aktiv umgesetzt wird (Seite 9).

Das Oekotoxzentrum kann nur in der Partnerschaft mit Behörden, Industrie und Wissenschaft erfolgreich sein. Als Drehscheibe muss es die Anliegen aus der Praxis berücksichtigen und seine Arbeit zusammen mit Forschungsinstitutionen und Hochschulen auf einer wissenschaftlichen Basis ausführen. In einem Workshop hat das Zentrum die Anliegen aus der Praxis im Bereich Ökotoxikologie konkretisiert. Die Ergebnisse des

Workshops fliessen nun in die Planung des Zentrums ein (Seite 11). Speziell erwähnen möchte ich die Trägerinstitutionen Eawag und EPFL. Sie unterstützen das Zentrum mit ihrem Management, ihrem Know-how, ihrer Infrastruktur und den Supportabteilungen und erlauben damit einen optimalen Einsatz der vom Bundesrat/ETH-Rat gesprochenen finanziellen Mittel.

Sehr geehrte und interessierte Leserinnen und Leser, die Aufbauzeit des Oekotox-zentrums war sehr spannend und intensiv, wenn auch – und das ist normal – nicht immer reibungslos. Mit Ihrer Zusammenarbeit und Ihrem konstruktiv-kritischen Input haben Sie enorm zum Aufbau des Zentrums beigetragen. Obwohl noch einiges zu tun ist, schaue ich mit grossem Dank an alle Beteiligten und ein wenig Stolz über das Erreichte in die Vergangenheit und mit viel Zuversicht in die Zukunft. Ich freue mich auf viele weitere spannende Begegnungen und erfolgreiche Projekte.



## Team am Oekotoxzentrum

Inge Werner	Leitung des Zentrums
Sophie Campiche	Boden-Ökotoxikologie
Carolina Di Paolo	Aquatische Ökotoxikologie
Rébecca Flück	Sediment-Ökotoxikologie
Caroline Gachet Aquillon	Laborverantwortliche Chemie
Emilie Grand	Laborverantwortliche Biologie
Nadzeja Homazava	Analytische Chemie
Marion Junghans	Risikobewertung
Robert Kase	Risikobewertung
Cornelia Kienle	Aquatische Ökotoxikologie
Petra Kunz	Aquatische Ökotoxikologie
Tamas Mengesha	Laborverantwortlicher Biologie
Isabel Perego	Administration und Weiterbildung
Anke Schäfer	Kommunikation

# Engagiert für Ökotoxikologie

**Neu wird das Team am Oekotoxzentrum von der Biologin Inge Werner geleitet. Im Mittelpunkt der Arbeit stehen neben umsetzungsorientierten Forschungsprojekten vor allem Weiterbildung und Beratung.**

Das Team am Oekotoxzentrum untersucht und beurteilt, wie Chemikalien die Umwelt beeinflussen, und hilft so, Risiken zu minimieren. Es macht Forschungserkenntnisse für die Anwendung nutzbar. Daher ist es ein wichtiger Partner für Fachleute aus Praxis, Industrie und Wissenschaft. Das Team besteht aus vierzehn Personen, die sich auf die beiden Standorte Dübendorf und Lausanne verteilen. Während sich die Mitarbeitenden in Dübendorf vor allem mit aquatischer Ökotoxikologie beschäftigen, liegt der Fokus in Lausanne auf Boden- und Sediment-Ökotoxikologie. Seit dem 1. September 2010 wird das Zentrum von der Biologin Inge Werner geleitet, die langjährige Erfahrung aus der Leitung des Aquatic Toxicology Laboratory der Universität von Kalifornien mitbringt.

## Beurteilung, Weiterbildung und Beratung

Im Vordergrund der praktischen Arbeit am Oekotoxzentrum stehen zurzeit Projekte im Bereich Gewässerbeurteilung – Wie können ökotoxikologische Tests dazu beitragen, Risiken zu minimieren? Mikroverunreinigungen sind ein Grund zur Besorgnis für die Gewässerqualität. Das Oekotoxzentrum untersucht insbesondere hormonaktive Substanzen und evaluiert Testsysteme für deren Beurteilung. Ziel ist es, den Behörden die besten praxistauglichen Tests empfehlen zu können (S. 4). In anderen Projekten untersucht das Zentrum, ob hormonaktive Substanzen auch in Mineral- und Trinkwasser nachgewiesen werden können. Einen weiteren Schwerpunkt setzen Projekte im Bereich Risikobewertung, in denen das Oekotoxzentrum Vorschläge für Qualitätskriterien für zahlreiche Mikroverunreinigungen erarbeitet (S. 10). Das Zentrum hat hier eine Koordinationsfunktion und vermittelt zwischen Behörden und externen Spezialisten. Auch in der Boden- und Sediment-Ökotoxikologie ist das Oekotoxzentrum das Kompetenzzentrum in der Schweiz: es optimiert und standardisiert verschiedene ökotoxikologische Tests für den Bodenschutz und die Sedimentanalyse (S. 8 und 11).

Neben den praktischen Projekten engagiert sich das Oekotoxzentrum in der Weiterbildung und der Beratung. In seinen Weiterbildungskursen vermittelt es den Fachleuten aus Praxis und Wissenschaft Neuigkeiten aus der Ökotoxikologie (S. 9). Das Zentrum berät zahlreiche Behörden und engagiert sich in den Fachgremien von OECD und EU. So gibt es sein Expertenwissen national und international weiter.



## Zwei Fragen an die neue Leiterin des Oekotoxentrums

### Was finden Sie an Ihrer neuen Aufgabe besonders spannend?

Die Ökotoxikologie ist eine unbequeme Wissenschaft. Oft deckt sie Umweltprobleme auf, die kostspielige Massnahmen erforderlich machen, und Problemlösungen sind selten einfach. Ich bin sehr beeindruckt, dass die Schweiz die Ökotoxikologie aktiv annimmt und fördert, und freue mich darauf, zu diesem Programm beitragen zu dürfen.

### Welche wissenschaftlichen Bereiche interessieren Sie im Speziellen?

Schon seit meiner Studienzeit habe ich ein grosses Interesse an den subletalen Auswirkungen von Chemikalien auf Organismen, z. B. der Beeinträchtigung des Immunsystems, Verhaltensänderungen und den Effekten von Pseudohormonen. Spezialisiert habe ich mich dabei auf die Auswirkung von Pestiziden auf aquatische Arten, die ja nicht die Zielorganismen dieser Substanzen sind. Ich interessiere mich sowohl für die angewandte Ökotoxikologie als auch die Entwicklung von effektiven Methoden für das Monitoring und die Früherkennung von Umweltschäden.

### Übrigens:

Frau Dr. Inge Werner ist seit September 2010 die neue Leiterin des Oekotoxentrums. Vorher war sie als Direktorin des Aquatic Toxicology Laboratory und Adjunct Professor an der School of Veterinary Medicine der University of California in Davis, USA, tätig. Die Zoologin hat dort zusammen mit staatlichen und lokalen Behörden Projekte in der aquatischen Ökotoxikologie durchgeführt.



# Bewertung von Biotests für hormonaktive Substanzen

**Die wirkungsbasierte Messung von hormonaktiven Stoffen bringt viele Vorteile – aber noch fehlen die geeigneten Teststrategien für die Praxis. Das Oekotoxzentrum will hier Abhilfe schaffen und eine Testempfehlung für die Schweiz erarbeiten.**

Immer mehr männliche Fische in Flüssen und Seen verweiblichen und sind nur noch begrenzt fortpflanzungsfähig. Verantwortlich gemacht werden hormonaktive Stoffe, also chemische Substanzen, die ähnlich wie Hormone wirken oder den Hormonhaushalt beeinflussen. Hormonaktive Stoffe haben unterschiedliche Strukturen; eine Bestandsaufnahme mithilfe chemischer Analytik ist also anspruchsvoll. Zudem treten sie in Gewässern meist in Mischungen auf, in denen sich die einzelnen Substanzen in ihrer Wirkung addieren können, und haben bereits in Konzentrationen Auswirkungen auf Organismen, in denen sie analytisch nicht mehr nachweisbar sind. Daher ist es sinnvoll, die Stoffe nicht nur anhand ihrer chemischen Strukturen nachzuweisen, sondern auch anhand ihrer Wirkung mit Hilfe von Biotests - hier spricht man von wirkungsbasierter Analytik.

Obwohl viele verschiedene *in vitro*- und *in vivo*-Tests in der Forschung angewandt werden, sind sie für den routinemässigen Einsatz durch Vollzugsbehörden oder private Labors in aller Regel nicht geeignet: entweder sind sie zu aufwändig, zu teuer oder nicht empfindlich genug. Das Oekotoxzentrum möchte der Praxis hier Entscheidungshilfen geben und ein Testkonzept für hormonaktive Stoffe für die ganze Schweiz vorschlagen. Als ersten Schritt vergleicht und optimiert das Zentrum momentan in zwei Projekten Biotests für die Messung hormonaktiver Substanzen in Gewässern, nämlich im Modul Ökotoxikologie des «Modulstufenkonzepts» und im Projekt «Strategie MicroPoll».

## Umfassender Schutz für Fließgewässer

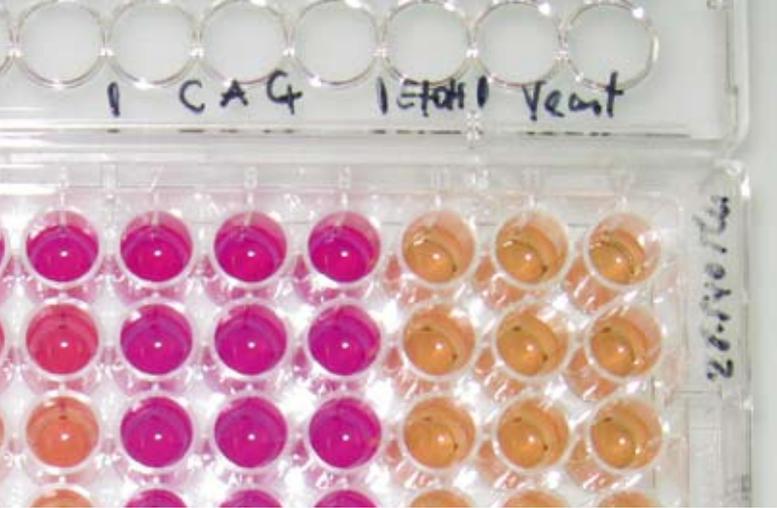
Das Modulstufenkonzept, ein gemeinsames Projekt des Bundesamts für Umwelt (BAFU), des Oekotoxzentrums, der Eawag und der Kantone, erarbeitet die Bausteine für eine standardisierte Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern. Der Schutz der Schweizerischen Fließgewässer – wichtiger Lebensraum für Tiere und Pflanzen - steht im Mittelpunkt des revidierten Gewässerschutzgesetzes von 1991. Um die Gewässer umfassend schützen zu können, muss allerdings zuerst ihr jetziger Zustand genau bekannt sein. Das Oekotoxzentrum soll standardisierte ökotoxikologische Tests vorschlagen, mit denen die kantonalen Gewässerschutzstellen die Qualität ihrer Flüsse an Problemstellen beurteilen können.

Als erste wichtige Substanzklasse wurden hormonaktive Substanzen ausgewählt, die hauptsächlich über Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) in die Fließgewässer gelangen. In einer Messkampagne wurden Proben aus zahlreichen ARAs und den dazugehörigen Fließgewässern vor und nach dem Zulauf des ARA-Wassers genommen. Das Oekotoxzentrum analysiert die östrogene Wirkung der Gewässerproben mit Hilfe dreier verschiedener *in vitro* Tests, nämlich des Hefezell-Östrogentests, des ER-Calux Tests und des H295R Steroidgenese Tests (siehe Textkasten). Anschliessend vergleicht es die Ergebnisse mit denen der chemischen Analytik. Die Projektergebnisse werden Ende 2010 publiziert werden.

## Problem Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen aus Alltagsprodukten, Medikamenten oder Pflanzenschutzmitteln stellen eine Herausforderung für den Gewässerschutz dar. Sie werden in ARAs oft nur unvollständig entfernt und von dort in die Gewässer eingeleitet. Das BAFU-Projekt «Strategie MicroPoll» untersucht, ob zusätzliche Massnahmen wie Ozonierung oder Aktivkohlebehandlung hier zu einer Verbesserung führen können. In einem grosstechnischen Pilotversuch in der ARA Vidy bei Lausanne beurteilt das Oekotoxzentrum die Wasserproben ökotoxikologisch und untersucht insbesondere Effekte von hormonaktiven Substanzen. Es prüft auch, ob sich die angewandten Testsysteme für eine Erfolgskontrolle für Massnahmen in kommunalen ARAs eignen.

Im Projekt «MicroPoll» kommen die gleichen Biotests wie im Modulstufenkonzept zum Einsatz. Zusätzlich werden durch das Oekotoxzentrum der Schnecken-Reproduktionstest mit *Potamopyrgus antipodarum* (siehe Textkasten) und der Kombinierte Algentest mit der einzelligen Grünalge *Pseudokirchneriella subcapitata* verwendet, der eine allgemeine herbizide Wirkung nachweist. Zudem werden zahlreiche weitere Tests von anderen Projektpartnern angewendet, um eine umfassende Bewertung der Abwasserproben zu ermöglichen: diese Tests sollen Aussagen zur Relevanz für Ökosysteme möglich machen. Die Ergebnisse aller Biotests aus allen Pilotversuchen des Projekts werden vom Oekotoxzentrum verglichen, zusammengefasst und diskutiert. Das Projekt «Strategie MicroPoll» wird voraussichtlich Mitte 2011 abgeschlossen.



### Messkonzept für östrogene Substanzen für die Schweiz

Die Erfahrungen mit den Biotests aus beiden Projekten werden anschliessend zusammengebracht. Darauf basierend erarbeitet das Oekotoxzentrum eine Testempfehlung für die Schweiz und schlägt dem BAFU ein entsprechendes Erhebungs- und Beurteilungskonzept vor – wenn es sich um nicht zertifizierte Tests handelt, zunächst als Zwischenlösung. Mittel- bis langfristig wird ein Konzept erarbeitet werden, das auf einem international zertifizierten Standardprotokoll wie ISO, CEN oder OECD basiert. So soll die Gewässerqualität im Bezug auf östrogene Effekte mit einem *in vitro* Biotest beurteilt werden können, wobei der Fokus auf besonders belasteten Standorten liegt. Später werden auch weitere Effekte und Testsysteme einbezogen werden. International ist das Oekotoxzentrum beratend für das Programm der OECD tätig, in dem die Richtlinien für Testsysteme für hormonaktive Substanzen im europäischen Rahmen erarbeitet werden, nämlich die Endocrine Disrupter Testing and Assessment (EDTA) Advisory Group.

#### Kontakt:

Dr. Cornelia Kienle, cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch

Dr. Petra Kunz, petra.kunz@oekotoxzentrum.ch

### Biotests weisen östrogene Stoffe nach

Im **Hefezell-Östrogentest** (Yeast Estrogen Screen = YES) werden genetisch veränderte Hefezellen eingesetzt. In ihnen wurde die Bindung von hormonaktiven Substanzen an den menschlichen Östrogenrezeptor mit einer Farbreaktion gekoppelt.

Der **ER-Calux-Test** verwendet eine menschliche Zelllinie mit Östrogenrezeptoren, in welche ein Leuchtgen als Reporter gen eingebaut wurde. Die Leuchtintensität entspricht der Menge der an den Östrogenrezeptor gebundenen Substanz.

Der YES-Test und der ER-Calux-Test sind momentan die meistversprechenden Testsysteme für Routineuntersuchungen auf östrogene Wirkungen in Wasser- und Abwasserproben.

Der **H295R Steroidgenese Test** arbeitet mit einer menschlichen Zelllinie, die alle Enzyme des Steroidgenese-Pfads herstellen kann. Es wird untersucht, wie sich die Bildung von Testosteron und 17 $\beta$  Estradiol unter Wirkung einer Substanz verändert.

Der **Schnecken-Reproduktionstest** mit *Potamopyrgus antipodarum* gibt mittels der Embryonenanzahl und der Aufteilung in beschaltete und unbeschaltete Embryonen über eine Belastung mit östrogen oder androgen wirkenden Substanzen Auskunft.

# Wirkungsbasierte Analytik für die ökotoxikologische Beurteilung

**Petra Kunz und Kristin Schirmer**

**Mit Biotests kann geprüft werden, ob Umweltproben schädliche Substanzen enthalten. Die Kombination mit der chemischen Analytik eröffnet auch neue Möglichkeiten für die Identifizierung von unbekanntem Inhaltsstoffen.**

Schadstoffe in Gewässern und Böden beeinträchtigen die dortigen Organismen und so das Funktionieren der Ökosysteme. Meist handelt es sich um komplexe Stoffgemische, was die chemische Analytik, die auf dem Nachweis von Einzelstoffen basiert, anspruchsvoll macht. Der Effekt der Stoffgemische auf die Organismen ist mittels chemischer Analytik ebenfalls schwer abzuschätzen. Biologische Verfahren können hier Abhilfe schaffen: die wirkungsbasierte Analytik schlägt eine Brücke zwischen der chemischen Einzelstoffanalyse und der toxischen Wirkung auf das Ökosystem. Unter Standardbedingungen wird hier die toxische Wirkung von Umweltchemikalien auf Organismen oder Modellsysteme untersucht. Dazu verwendet man Biotests, die messbare Antworten auf verschiedenen Organisationsebenen des Organismus anzeigen.

### **Rückschlüsse auf den Wirkmechanismus**

Diese Antworten können unspezifisch oder spezifisch für eine Substanzklasse sein. Einerseits kann die Schädlichkeit einer Umweltprobe als Summenwirkung der darin enthaltenen Schadstoffe ermittelt werden, ohne etwas über die verursachenden Substanzen zu erfahren. Dies passiert zum Beispiel, wenn zur Qualitätsüberwachung von Fließgewässern das Überleben von Fischen beobachtet wird, die in Aquarien mit Flusswasser gehalten werden. Andererseits gibt es biologische Testsysteme, die durch ihren Wirkmechanismus gleichzeitig einen Hinweis auf die verursachenden Substanzgruppen liefern. Ein Beispiel dafür sind Testsysteme mit substanzspezifischen Rezeptoren für

hormonaktive oder dioxin-ähnlichen Stoffe. Diese Substanzen müssen an Rezeptoren binden, um wirksam zu werden. Bei derartigen Tests kann von der Wirkung (Bindung an den Rezeptor) auf die entsprechende Substanzgruppe geschlossen werden. Dabei wird der Wirkmechanismus gemessen, nicht aber zwingend die Wirkung auf den Testorganismus. Die Tests werden nämlich häufig mit Hefe-, Säugetier- oder Fischzellen durchgeführt, in denen die Rezeptoren natürlicherweise vorhanden sind oder künstlich eingesetzt wurden.

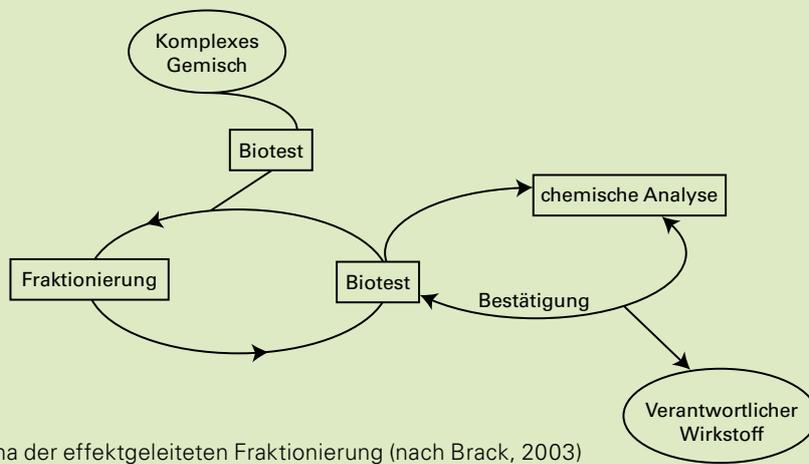
### **Vorteilhafte Biotests**

Die wirkungsbezogene Analyse hat zahlreiche Vorteile. Hormonaktive Stoffe beispielsweise finden sich in Kläranlagen häufig in derart niedrigen Konzentrationen, dass sie mit Hilfe chemischer Analytik schwer oder gar nicht nachweisbar sind. Da sich aber die Wirkung dieser Substanzen oft addiert, können sie mit wirkungsbasierten Tests erfasst werden [1]. Bei routinemässigen chemisch-analytischen Messungen für prioritäre Substanzen können zusätzliche wirkungsbezogene Tests Hinweise auf bisher nicht gemessene Schadstoffe und deren Wirkung liefern. So wurde eine Grundwasserunreinigung unter einer ehemaligen Benzolproduktionsanlage mittels Benzolanalytik auf ihre Ausbreitung untersucht. Parallele Studien mit einem wirkungsbezogenen Testsystem (Fischleberzellen), das dioxin-ähnliche Substanzen nachweisen kann, zeigten jedoch eine viel grössere Ausbreitung der Kontamination, als allein durch die Benzolanalytik sichtbar war. Es wurde deutlich, dass an diesem Standort neben Benzolrück-

ständen auch dioxin-ähnliche Substanzen vorhanden waren [2]. Die wirkungsbezogene Analytik kann also auch dazu beitragen, eine Über- oder Unterschätzung der wirklichen Gefahr zu vermeiden. Mit Hilfe der wirkungsbasierten Analytik kann schnell und meist kostengünstig ermittelt werden, ob eine Umweltprobe mit toxikologisch relevanten Schadstoffen belastet ist. Bei Bedarf können dann weitere detaillierte biologische und chemische Analysen durchgeführt werden.

### **Mehrwert durch Kombination mit chemischer Analytik**

Kombiniert man wirkungsbezogene Tests und chemische Spurenanalytik, so können verschmutzte Standorte deutlich besser beurteilt werden als mit einer Testmethode alleine. Das Konzept der «toxischen Äquivalente» kann wichtige Hinweise auf die dort vorhandenen Schadstoffe liefern, wenn Substanzen mit gleicher Wirkung betrachtet werden. Dabei werden die in den Biotests gemessenen Effekte als Äquivalente einer Referenzsubstanz (z. B. Östrogen oder Dioxin) ausgedrückt und mit den erwarteten Effekten der chemisch gemessenen Substanzen verglichen. Findet man in der wirkungsbezogenen Analytik stärkere Effekte als aufgrund der chemischen Analyse erwartet, so wurden noch nicht alle relevanten Substanzen chemisch nachgewiesen. Dieses Konzept wird beispielsweise für die Erfolgskontrolle technisch aufgerüsteter Kläranlagen im Projekt «Strategie MicroPoll» (siehe Artikel Seite 4) angewendet.



Schema der effektgeleiteten Fraktionierung (nach Brack, 2003)

### Vielversprechende Zukunftsaussichten

Noch besser verknüpft werden können wirkungsbezogene Tests und chemische Analytik mit der effektgeleiteten Fraktionierung. Hier werden von vornherein Extraktion, biologische wirkungsbasierte Methoden, physikalisch-chemische Fraktionierung und chemische Analyse kombiniert, um Schlüssel-Schadstoffe zu identifizieren [3,4 ; siehe Schema]. Die Fraktionierung trennt die Umweltprobe aufgrund der Eigenschaften ihrer Inhaltstoffe in immer mehr Fraktionen auf, so dass die Komplexität der Proben zunehmend abnimmt. Die Fraktionen werden anschließend einzeln in Biotests auf ihre Wirkung hin untersucht und, wenn biologisch wirksam, auch chemisch analysiert. Die gemessenen Wirkungen können mit den chemisch ermittelten Substanzen aus der Umweltprobe in Verbindung gebracht werden und damit Hinweise auf bisher unbekannte oder durch Monitoringprogramme nicht erfasste Schadstoffe mit adverser Wirkung geben. Diese Vorgehensweise ist zum jetzigen Zeitpunkt noch sehr aufwändig, wird aber in Zukunft voraussichtlich einen starken Einfluss auf die Umweltanalytik haben.

Der Einbezug der wirkungsbezogenen Analytik kann also zu einer deutlich verbesserten Aussagekraft bei der Beurteilung von Umweltproben und zu einer verfeinerten Risikobewertung führen. Werden, wie oben beschrieben, chemische Analytik und Fraktionierung hinzugefügt und somit besonders wichtige Schadstoffe identifiziert, kann diese Information genutzt werden, um die Einträge dieser Substanzen zukünftig zu vermeiden oder entsprechende Massnahmen

zu ihrer Elimination zu ergreifen. Damit ist die wirkungsbezogene Analytik ein wichtiger Baustein zum nachhaltigen Schutz unserer Gewässer.

Dr. Petra Kunz ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Oekotoxzentrum, Prof. Dr. Kristin Schirmer ist Leiterin der Abteilung Umwelttoxikologie an der Eawag.

### Literatur

- [1] Vermeirssen, E. L. M., Suter, M. J. F., Burkhardt-Holm, P. (2006). Estrogenicity patterns in the Swiss midland river Lützelalmurg in relation to treated domestic sewage effluent discharges and hydrology. *Environmental Toxicology and Chemistry* 25, 2413–2422.
- [2] Schirmer, K., Bopp, S., Russold, S., Popp, P. (2004). Dioxin-ähnliche Wirkungen durch Grundwasser am Industriestandort Zeitz: Erfassung und Ableitungen für Sanierungsstrategien. *Grundwasser*, 9(1), 33–42.
- [3] Brack, W. (2003). Effect-directed analysis: A promising tool for the identification of organic toxicants in complex mixtures? *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377, 397–407.
- [4] Brack, W., Schirmer, K. (2003). Effect-directed identification of oxygen and sulfur heterocycles as major Cytochrome P4501A-inducers in a contaminated sediment. *Environmental Science and Technology*, 37, 3062–3070.



## Boden-Ökotoxikologie in der Schweiz – im Gespräch mit Sophie Campiche

**Ökotoxikologische Tests sind im Bodenschutz noch wenig verwurzelt, obwohl sie massgeblich zur Bodenbewertung beitragen können. Das Oekotoxzentrum will erreichen, dass sich das ändert. Dr. Sophie Campiche, wissenschaftliche Mitarbeiterin am Oekotoxzentrum, erläutert die Hintergründe.**

### **Warum brauchen wir eine Boden-Ökotoxikologie?**

Nur durch ökotoxikologische Tests mit Bodenorganismen können wir herausfinden, wie diese durch Schadstoffe beeinträchtigt werden. Bodenorganismen spielen eine wichtige Rolle für das Funktionieren der Böden (z. B. für den Abbau von organischer Substanz, den Nährstoffkreislauf oder die Entgiftung) und sind daher unentbehrlich für die Bodengesundheit. In den Tests messen wir den Einfluss von Schadstoffen auf Faktoren wie Sterblichkeit, Fortpflanzung oder Wachstum und können so Effektkonzentrationen und Grenzwerte für Schadstoffe oder Bodenproben bestimmen. Ziel ist es, die Bodenorganismen vor einer lebensbedrohenden Belastung mit Chemikalien zu schützen und so die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten.

### **Wie kann das Oekotoxzentrum zum Bodenschutz in der Schweiz beitragen?**

Wir müssen den Bedarf an ökotoxikologischen Tests in der Schweiz evaluieren und ihre Anwendung voranbringen. Momentan wird die Verschmutzung von Böden hauptsächlich durch die chemische Analyse von spezifischen Schadstoffen gemessen. In letzter Zeit hat man die Bestimmung von biologischen Parametern wie z. B. der mikrobiellen Biomasse oder der Artenvielfalt vorgeschlagen, um die chemischen Daten zu ergänzen. Ökotoxikologische Tests stellen die Verbindung zwischen den gemessenen Schadstoffkonzentrationen und den biologischen Parametern her. So können sie helfen, verschmutzte Standorte zu finden und die

Toxizität der Verschmutzung zu ermitteln. Sie sollten daher routinemässig in die Bodenschutzstrategien der Schweiz integriert werden.

### **Welche Bodenorganismen werden für ökotoxikologische Tests benutzt?**

Am häufigsten werden Regenwürmer und Springschwänze eingesetzt, aber auch andere Wirbellose wie Nematoden, Enchyträiden oder Milben. Auch Pflanzen werden untersucht, um die Funktion des Bodens als Substrat zu beurteilen. Die Organismen reagieren unterschiedlich empfindlich auf Schadstoffe, so kann ein Pflanzenschutzmittel in der gleichen Konzentration sehr giftig für Springschwänze sein, aber nicht für Regenwürmer. Daher sollte eine Testbatterie mit mindestens drei Arten aus drei verschiedenen Ebenen der Nahrungskette angewendet werden, um den grössten Teil der Bodenorganismen abzudecken.

### **Was macht es schwierig, diese Tests zu etablieren?**

Es ist immer schwierig, mit lebenden Systemen zu arbeiten. Um vergleichbare Einzelorganismen zu haben, werden meist Tierarten verwendet, die sich im Labor leicht züchten lassen. Wenn eine neue Zucht in einem Labor etabliert wird, kann es trotzdem ein Jahr dauern, bis sich die Tiere an ihre neue Umgebung gewöhnt haben und alle Parameter optimiert wurden – sogar bei international standardisierten Methoden! Auch später ist es manchmal schwierig herauszufinden, warum eine Zucht nicht richtig gedeiht.

### **In welchem Bereich der Boden-Ökotoxikologie ist das Oekotoxzentrum momentan aktiv?**

Im Moment optimieren wir existierende ökotoxikologische Methoden für die Anwendung im Feld oder das Bodenmonitoring – meist wurden diese noch nicht international standardisiert. Ein Beispiel ist der «Bait Lamina» Test. Das ist eine funktionelle Methode, mit der man im Feld die biologische Aktivität von Bodenorganismen messen kann. Es gibt aber noch zu wenig Information über die Parameter, die diesen Test beeinflussen, wie die Temperatur, die Feuchtigkeit oder die Art des Bodens. Das Oekotoxzentrum untersucht diese Einflüsse genauer, um die Anwendung des Tests zu vereinfachen und seine Aussagekraft für die Benutzer zu erhöhen.

### **Was sind die nächsten wichtigen Schritte für die Zukunft?**

Wir wollen wir noch genauer herausfinden, was im Bereich Boden-Ökotoxikologie in der Schweiz gebraucht wird und diskutieren das in einer Arbeitsgruppe mit Spezialisten der kantonalen Bodenschutzfachstellen und des Bundes. So hoffen wir, die Entwicklung, die Optimierung und die Empfehlung von einfachen Tests für das Bodenmonitoring und die Fruchtbarkeitsbestimmung im Boden so vorantreiben zu können, dass die Bedürfnisse der verschiedenen Stakeholder in der Schweiz erfüllt werden.



## Stark in der Weiterbildung

**An den Kursen des Oekotoxenzentrums informieren sich Experten aus Praxis, Verwaltung, Forschung und Industrie über Entwicklungen in der Ökotoxikologie und tauschen Erfahrungen aus.**

Die Weiterbildung von Fachleuten hat am Oekotoxzentrum einen hohen Stellenwert. Bis jetzt standen vier Weiterbildungskurse sowie eine Fachtagung zur Arbeit mit Bachflohkrebsen auf dem Programm. Über 110 Expertinnen und Experten brachten sich hier auf den neuesten Stand des Wissens und diskutierten aktuelle Probleme und Lösungsmöglichkeiten.

### Tests im Test

Ökotoxikologische Tests werden benötigt, um die Wirkung der komplexen Mischung von Schadstoffen zu beurteilen, die in Gewässern und Böden in teils minimalen Konzentrationen vorliegen. Aber welche unter den zahlreichen Tests eignen sich für welche Fragestellungen? Was ist ihre Aussagekraft? Wie können sie kombiniert werden? Zur Beantwortung dieser Fragen stellte das Oekotoxzentrum in einem Anwenderkurs die möglichen biologischen Testmethoden vor. In einem praktischen Teil konnten die Teilnehmenden anschliessend ausgewählte Testverfahren im Labor näher kennen lernen und bewerten.

### Biotests für hormonaktive Substanzen

Eine spezielle Herausforderung stellen Schadstoffe dar, die auf Organismen ähnlich wirken wie Hormone. In einem mehrtägigen Workshop hat das Oekotoxzentrum die Erfahrungen mit Biotests für hormonaktive Substanzen mit Fachleuten vertieft. Testentwickler und -anwender aus dem In- und Ausland stellten ihre Aktivitäten vor und diskutierten ihre Bedürfnisse. In der Schweiz gibt es momentan noch keine empfohlenen Nachweismethoden für hormonaktive Substanzen – auch Schwellenwerte wurden bislang keine festgesetzt.

### Risikobewertung am Computer

Die giftige Wirkung von Umweltschadstoffen kann auch mit Hilfe von Computer-gestützten Modellen vorhergesagt werden. Die Risikobewertung mit quantitativen Struktur-Wirkungs-Beziehungen (QSAR) bildete den Fokus des dritten Weiterbildungskurses. Diese Verfahren sind nützlich, um Lücken in den vorhandenen toxikologischen Daten zu schliessen. Der Kurs gab einen Überblick über verschiedene Modelle, die von den Teilnehmenden anschliessend angewendet werden konnten.

### Introduction à l'écotoxicologie

Um Interessierte aus der Romandie zu erreichen, wurde ein Einführungskurs in die Ökotoxikologie durchgeführt – diesmal in französischer Sprache in Lausanne. Die Teilnehmenden gewannen einen Überblick über Schadstoffe in der Umwelt und lernten verschiedene wirkungsbasierte Testsysteme kennen, auch mit Hilfe praktischer Demonstrationen. Die Grundlagen von Risikoabschätzung und Regulatorik bildeten einen weiteren Fokus des Kurses. Der Einführungskurs wird ab sofort einmal jährlich abwechselnd auf Deutsch und Französisch stattfinden; das nächste Mal im Mai 2011 auf Deutsch in Dübendorf.

### Neuer Kurs zur Mischungstoxizität

Chemikalien treten in Gewässern meist in komplexen Mischungen auf und können sich gegenseitig in ihrer Wirkung beeinflussen. Die Beurteilung von Chemikalienmischungen mittels verschiedener Modelle wird im nächsten Kurs des Oekotoxenzentrums vom 24. und 25. November 2010 das Thema sein. Ebenfalls wichtig sind die regulatorischen Herausforderungen, die sich aus der Mischungsproblematik ergeben. Der Kurs wird in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für angewandte Humantoxikologie SCAHT angeboten: das detaillierte Programm finden Sie auf dem Internet unter:

[www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung/2010](http://www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung/2010)

Die Basis des Weiterbildungsangebots am Oekotoxzentrum bilden Einführungskurse in die Ökotoxikologie, Anwenderkurse und Kurse über die Beeinträchtigung natürlicher Systeme. Darüber hinaus werden laufend aktuelle Themen aufgegriffen, und ausgewählte Kurse werden zusammen mit dem neuen Zentrum für Humantoxikologie durchgeführt. Unser aktuelles Weiterbildungsangebot finden Sie jeweils auf unserer Homepage unter [www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung](http://www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung). Das Oekotoxzentrum beteiligt sich auch am Master in Advances Studies in Toxicology, der von der Ecole de Pharmacie Genève-Lausanne (EPGL), der Université de Genève und dem Zentrum für Humantoxikologie (SCAHT) durchgeführt wird (S.11).

# Kurzmeldungen aus dem Oekotoxzentrum



## Umweltqualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel

Da Pflanzenschutzmittel oft in Gewässern nachgewiesen werden, besteht ein Interesse, diese Substanzen auch ökotoxikologisch zu bewerten. Für die Bewertung existieren unterschiedliche Methoden, die sich laufend weiterentwickeln und auf verschiedenen Richtlinien und Schutzziele basieren. Deshalb hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Situationsanalyse in Auftrag gegeben. Das Oekotoxzentrum vergleicht im Rahmen dieser Situationsanalyse die Methoden der EU und einiger Mitgliedstaaten zur Erarbeitung von Umweltqualitätskriterien für Pflanzenschutzmittel. Der Vergleich beinhaltet die Ableitung solcher Kriterien für 7 Pflanzenschutzmittel, um die Konsequenzen der Unterschiede zu illustrieren. Auf dem Prüfstand stehen die Herbizide Diuron, Mecoprop-(P) und Terbutylazin, die Fungizide Carbendazim und Propiconazol und die Insektizide Imidacloprid und Diazinon. Neben dem Auftraggeber wirken als weitere Partner das Bundesamt für Landwirtschaft, die Eawag, die Universität Lausanne, das Ingenieurbüro BMG und zahlreiche externe Experten. Das Oekotoxzentrum bildet im Projekt eine Drehscheibe: es sammelt die Beiträge der einzelnen Projektpartner und bringt sie zu einem konsensfähigen Gesamtergebnis zusammen. Die Projektergebnisse werden für Ende 2010 erwartet und sollen auch aufzeigen, welche Methode zur Konkretisierung der Ziele der Schweizerischen Gewässerschutzgesetzgebung verwendet werden könnte.

Kontakt: Robert Kase, [robert.kase@oekotoxzentrum.ch](mailto:robert.kase@oekotoxzentrum.ch)  
Marion Junghans, [marion.junghans@oekotoxzentrum.ch](mailto:marion.junghans@oekotoxzentrum.ch)



## Beurteilungskonzept für Mikroverunreinigungen publiziert

Mikroverunreinigungen wie z.B. Rückstände von Alltagsprodukten, Medikamenten oder Pflanzenschutzmitteln werden hauptsächlich über das kommunale Abwasser in Gewässer eingetragen. Einige dieser Stoffe wirken schon in sehr geringen Konzentrationen schädlich auf Wasserorganismen. Im Rahmen des Projekts «Strategie MicroPoll» des Bundesamts für Umwelt wird ein Konzept für die Beurteilung der Gewässerqualität mit dem Fokus auf Mikroverunreinigungen erarbeitet. Dazu trägt das Oekotoxzentrum mit der Ableitung von wirkungsbasierten numerischen Anforderungen an die Gewässerqualität bei (im EU-Zusammenhang auch als Umweltqualitätsstandards bezeichnet). Dabei handelt es sich um Richtwerte, die eingehalten werden sollten, um aquatische Organismen vor möglichen Schädwirkungen zu bewahren. Die Abteilung Umweltchemie der Eawag ist ein wichtiger Projektpartner und bearbeitet die Expositionscharakterisierung und -priorisierung. In einer neuen Publikation wird das aktuelle Beurteilungskonzept zum ersten Mal vorgestellt – sie kombiniert die Expositions- und Effektbewertungen mehrerer Mikroverunreinigungen zu einer schweizweiten Risikobewertung. Die detaillierten Projektergebnisse werden voraussichtlich im Oktober 2010 publiziert werden.

Götz, C.W.; Kase, R.; Kienle, C.; Hollender, J. (2010) Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. [gwa/07](http://gwa/07), [www.gwa.ch/](http://www.gwa.ch/)



### Praxis-Workshop des Ökotoxozentrums

Ausgewählte Fachleute aus kantonaler Verwaltung, Bundesverwaltung, Industrie und Forschung wurden am 6. Mai 2010 vom Ökotoxozentrum zu einem Workshop auf dem Gurten eingeladen. Ziel war es, die bestehenden Bedürfnisse und Probleme im Bereich Ökotoxikologie zu sammeln und zu bewerten, um die Arbeit des Ökotoxozentrums ideal auf die Bedürfnisse der Praxis abstimmen zu können. In Kleingruppen wurden Planungsgrundlagen zu verschiedenen Themenbereichen erarbeitet, nämlich Strategie und Methode der Probenahme, ökotoxikologische Tests und Beurteilungsmethoden und Umweltüberwachung und -bewertung. Die Wünsche sahen in allen drei Diskussionsgruppen ähnlich aus: Methodenempfehlungen für ökotoxikologische Tests und chemische Analytik, mehr Standardisierung bei Probenahme und Methodik, eine bessere Vernetzung zwischen den einzelnen Kantonen und mit dem Bund und eine Verbesserung der internationalen Einbettung. Die Ergebnisse des Workshops fliessen nun in die Planung der Ökotoxozentrums ein. Die Workshopsynthese ist auf unserer Webseite verfügbar.

[www.oekotoxzentrum.ch/ueberuns/news/doc/Synthese\\_Praxisworkshop.pdf](http://www.oekotoxzentrum.ch/ueberuns/news/doc/Synthese_Praxisworkshop.pdf)



### Neuer Master of Advanced Studies (MAS) in Toxikologie

Das Ökotoxozentrum beteiligt sich am Modul Ökotoxikologie des neuen MAS in Toxikologie, den die Schule für Pharmazie Genf/Lausanne zusammen mit der Universität Genf und dem Zentrum für Humantoxikologie (SCAHT) anbietet. Der berufsbegleitende Kurs richtet sich an Fachleute aus Industrie, Behörden und Wissenschaft und kann für die professionelle Registrierung als Toxikologe/Toxikologin benützt werden. Zum ersten Mal wird der Kurs vom September 2010 bis zum Juni 2012 durchgeführt.

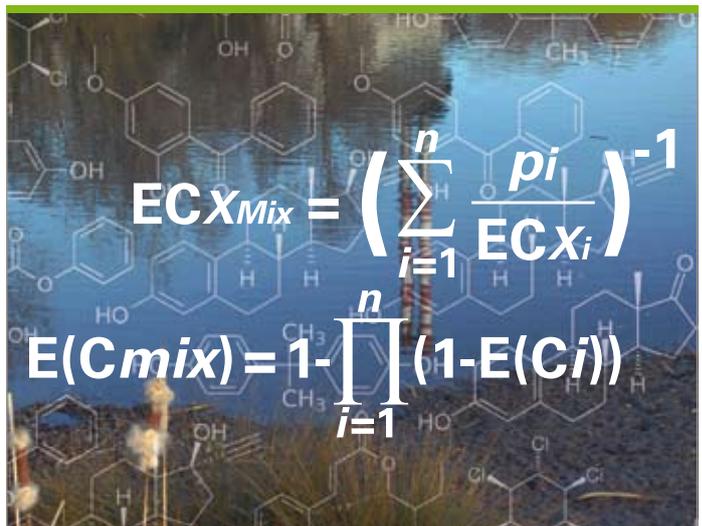
[www.unige.ch/formcont/toxico/toxico.pdf](http://www.unige.ch/formcont/toxico/toxico.pdf)



### Testempfehlungen für Sedimenttoxikologie

Zusammen mit verschiedenen Spezialisten aus den Bereichen Ökotoxikologie und chemischer Analytik hat das Ökotoxozentrum eine Task Force im Bereich Sedimenttoxikologie gegründet. Die Task Force trifft sich zur Beratung regelmässig mit Vertretern der kantonalen Fachstellen. Ziel ist es, bis Ende 2011 Methodenempfehlungen für die Sedimentanalyse in der Schweiz zu erarbeiten. Sedimente dienen als langfristige Quelle von Schadstoffen und auch als Habitat zahlreicher Tierarten. Daher ist es wichtig, Testsysteme zur Bestimmung der Sedimenttoxizität zur Verfügung zu haben.

Kontakt: Rébecca Flück, [rebecca.flueck@oekotoxzentrum.ch](mailto:rebecca.flueck@oekotoxzentrum.ch);  
Sophie Campiche, [sophie.campiche@oekotoxzentrum.ch](mailto:sophie.campiche@oekotoxzentrum.ch)



### Neuer Weiterbildungskurs zur Mischungstoxizität

Chemikalien treten in Gewässern meist in komplexen Mischungen auf und können sich gegenseitig in ihrer Wirkung beeinflussen. Die Beurteilung von Chemikalienmischungen mittels verschiedener Modelle wird im nächsten Weiterbildungskurs des Ökotoxozentrums vom 24. und 25. November 2010 das Thema sein. Ebenfalls wichtig sind die regulatorischen Herausforderungen, die sich aus der Mischungsproblematik ergeben. Der Kurs wird in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Humantoxikologie SCAHT durchgeführt; das detaillierte Programm finden Sie auf dem Internet unter

[www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung/2010](http://www.oekotoxzentrum.ch/weiterbildung/2010)

# Ökotoxikologie anderswo

In dieser Rubrik informiert das Oekotoxzentrum über interessante internationale Neuigkeiten aus der Ökotoxikologie in den Bereichen Forschung und Regulatorik. Die Auswahl von Beiträgen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die Inhalte in den einzelnen Beiträgen spiegeln nicht in jedem Fall die Standpunkte des Oekotoxzentrums wider.

## Integration von Mischungstoxizität in EU-Gesetzgebung gefordert

Die EU kann und sollte die Risiken, die von Chemikalienmischungen in der Umwelt ausgehen, bewerten und regulieren. Dies empfiehlt ein Bericht über den neuesten Wissensstand im Bereich Mischungstoxizität, der von der Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission in Auftrag gegeben wurde. Der Bericht zeigt anhand wissenschaftlicher Resultate die grosse Bedeutung der Mischungstoxizität auf und vergleicht, wie die Mitgliedstaaten der EU und andere Regierungen und internationale Verbände die Risiken von Chemikalienmischungen berücksichtigen. Damit liefert er einen wichtigen Beitrag zur Debatte, wie die EU-Politik die Mehrfachbelastung durch Schadstoffe angehen soll.

[ec.europa.eu/environment/chemicals/pdf/report\\_Mixture%20toxicity.pdf](http://ec.europa.eu/environment/chemicals/pdf/report_Mixture%20toxicity.pdf)

## Mischungseffekte schädigen Gewässer

Es wird angenommen, dass Oberflächenwasser von guter Qualität ist, wenn die einzelnen Schadstoffe die maximal zulässigen Konzentrationen nicht überschreiten. Neue Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass die Wasserqualität durch Mischungseffekte auch dann schon beeinträchtigt sein kann.

Baas, J. and Kooijman, B. (2010). Chemical contamination and the ecological quality of surface water. *Environmental Pollution* 158, 1603-1607

## Phthalate stören auch die weibliche Fortpflanzung

Umweltübliche Konzentrationen von Phthalaten können die weibliche Fortpflanzung bei Fischen stören, und zwar auf verschiedenen Ebenen, vom Wachstum und der Reifung der Eier bis zu ihrer Freisetzung. Phthalate wirken hauptsächlich als Antiandrogene und wurden bei männlichen Fischen für abnehmende Spermienzahlen und Fehlentwicklungen am männlichen Fortpflanzungsapparat verantwortlich gemacht. Die Studie ist eine der ersten, die zeigt, dass Phthalate auch die weibliche Fortpflanzung beeinträchtigen können.

Carnevali, O., Tosti, L., Speciale, C., Peng, C., Zyu, Y., Madonna, F. (2010) DEHP impairs zebrafish reproduction by affecting critical factors in oogenesis. *PLoS ONE* 5 (4), e10201  
[dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0010201](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0010201)

## U.S. EPA öffnet Zugang zu Toxizitätsdaten

In einer neuen Datenbank der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) namens ToxRefDB wird der Zugriff auf unzählige Toxizitätsstudien möglich. Die Datenbank enthält die Resultate aus 30 Jahren von toxikologischen Tests. Die Ergebnisse waren zuvor über verschiedenste Quellen verteilt und bilden Grundlagen für die Chemikalienbeurteilung.

[actor.epa.gov/toxrefdb](http://actor.epa.gov/toxrefdb)

## U.S. EPA überprüft die Umweltwirkung von Bisphenol A

Die U.S. EPA hat Bisphenol A (BPA) als potentiell gefährliche Chemikalie klassifiziert und will seine Wirkung auf die Umwelt detailliert bewerten. BPA ist in vielen Kunststoffen und der Auskleidung von Konserven- oder Getränkedosen enthalten. Die Substanz gilt als hormonaktiv und wirkt im Körper wie das Hormon Östrogen. Die EPA will die Industrie verpflichten, Daten zur akuten und chronischen Toxizität von BPA für Wassertiere und andere Organismen zu liefern. Auch der Gehalt in Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser soll überprüft werden, um festzustellen, ob BPA in potentiell gefährlichen Konzentrationen vorliegt.

[www.epa.gov/oppt/existingchemicals](http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals)

## Medikamentenhersteller in den U.S.A. können zur Gewässerbelastung mit Pharmazeutika beitragen

Der Ablauf von Abwasserreinigungsanlagen (ARAs), die Abwasser von Medikamentenherstellern aufzureinigen, kann einzelne Pharmazeutika in bis zu 1000fach höheren Konzentrationen enthalten als der Ablauf von gewöhnlichen ARAs. Dies zeigten Forscher der U.S. Geological Survey für 2 ARAs in den USA. Analysiert wurden 7 verschiedene Medikamente, darunter Opiode und Muskelrelaxantien. Bis jetzt war davon ausgegangen worden, dass die Ausscheidung durch den Menschen die Hauptquelle für Medikamente in Gewässern darstellt. Die Studie zeigt, dass Medikamente auch direkt von den Herstellerfirmen in die ARAs gelangen können.

Phillips, P.J., Smith, S.G., Kolpin, D.W., Zaugg, S.D., Buxton, H.T., Furlong, E.T., Esposito, K., and Stinson, B. (2010) Pharmaceutical Formulation Facilities as Sources of Opioids and Other Pharmaceuticals to Wastewater Treatment Plant Effluents *Environmental Science and Technology* 44 (13), 4910-4916

## Impressum

Herausgeber: Oekotoxzentrum

Eawag/EPFL

Überlandstrasse 133

8600 Dübendorf

Schweiz

Tel. +41 44 823 5562

Fax +41 44 823 5863

[www.oekotoxzentrum.ch](http://www.oekotoxzentrum.ch)

EPFL-ENAC-IIE-GE

Station 2

1015 Lausanne

Schweiz

Tel. +41 21 693 6258

Fax +41 21 693 8035

[www.centreecotox.ch](http://www.centreecotox.ch)

Redaktion und nicht gezeichnete Texte: Anke Schäfer, Oekotoxzentrum

Copyright: Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion

Copyright der Fotos: Oekotoxzentrum, Eawag (Titel, S. 4, S. 12)

Erscheinungsweise: zweimal jährlich

Gestaltungskonzept, Satz und Layout: visu'1 AG, Zürich

Druck: Mattenbach AG, Winterthur

Gedruckt: auf Recyclingpapier

Abonnement und Adressänderung: Neuabonnentinnen und Neuabonnenten willkommen, [info@oekotoxzentrum.ch](mailto:info@oekotoxzentrum.ch)