

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 69 (2012)

Artikel: Hormonaktive Substanzen in Schweizer Abwasser und Gewässern
Autor: Kienle, Cornelia / Kunz, Petra / Vermeirissen, Etiënne
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-389783>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CORNELIA KIENLE¹, PETRA KUNZ, ETIENNE VERMEIRSEN, ROBERT KASE, ANDRES JORDI, ANKE SCHÄFER und INGE WERNER

Hormonaktive Substanzen in Schweizer Abwasser und Gewässern

Zusammenfassung des Vortrags vom 21. Juni 2011

*Hormonaktive Stoffe, die vor allem über das Abwasser in Oberflächengewässer gelangen, können die Gesundheit von Wassertieren beeinträchtigen. Ökotoxikologische Testmethoden verbessern die Messbarkeit und Bewertung dieser Substanzen. Sie liefern wichtige Entscheidungshilfen für Massnahmen zur Verminde-
rung des Eintrags der Stoffe. So lässt sich mit ihnen die Wirkung zusätzlicher Reinigungsstufen in den Kläranlagen evaluieren.*

Englische Forscher waren erstaunt, als sie zu Beginn der 1990er-Jahre in Flüssen immer wieder männliche Fische entdeckten, die als Intersex ausgeprägt waren, also sowohl männliche als auch weibliche Geschlechtsmerkmale aufwiesen (Abb. 1). Was konnte die Ursache für diese Anomalien sein? Die Fische traten besonders häufig in Fließgewässern unterhalb von Kläranlagen auf, wo das Flusswasser einen grossen Anteil an gereinigtem Abwasser enthielt. Nachfolgende Untersuchungen zeigten, dass in gereinigtem Abwasser Substanzen vorkamen, die Östrogen auf Fische wirkten und so männliche Fische verweiblichen konnten (Purdom et al. 1994). Aus früheren Studien war auch bekannt, dass hormonaktive Substanzen schädlich auf andere Tiere wirken können und zum Beispiel für Populationseinbrüche bei Greifvögeln und Fischottern verantwortlich waren (Newton & Haas, 1984; Weber 1990) und bei weiblichen Meeresschnecken eine Vermännlichung hervorrufen konnten (Huet et al. 1996).

Zu den Östrogen aktiven Stoffen gehören neben den natürlichen Östrogenen von Tieren und vom Menschen auch synthetische Substanzen wie Ethinylöstradiol aus Antibabypillen oder Bisphenol A, das zur Herstellung zahlreicher Kunststoffe verwendet wird. Letztere wirken ähnlich wie die natürlichen weiblichen Sexualhormone und können diese nachahmen oder ihre Wirkung blockieren. Östrogen aktive Stoffe beeinträchtigen die Entwicklung, Fortpflanzung und Gesundheit von Wassertieren. Insbesondere Fische sind betroffen, da ihr Hormonsystem dem des Menschen ähnlich ist. Bemerkenswert ist, dass die Stoffe schon in sehr geringen Konzentrationen von weniger als einem Nanogramm pro Liter (das ent-

¹ Dr. CORNELIA KIENLE ist aquatische Ökotoxikologin am Oekotoxzentrum der Eawag und EPFL
E-Mail: Cornelia.Kienle@oekotoxzentrum.ch

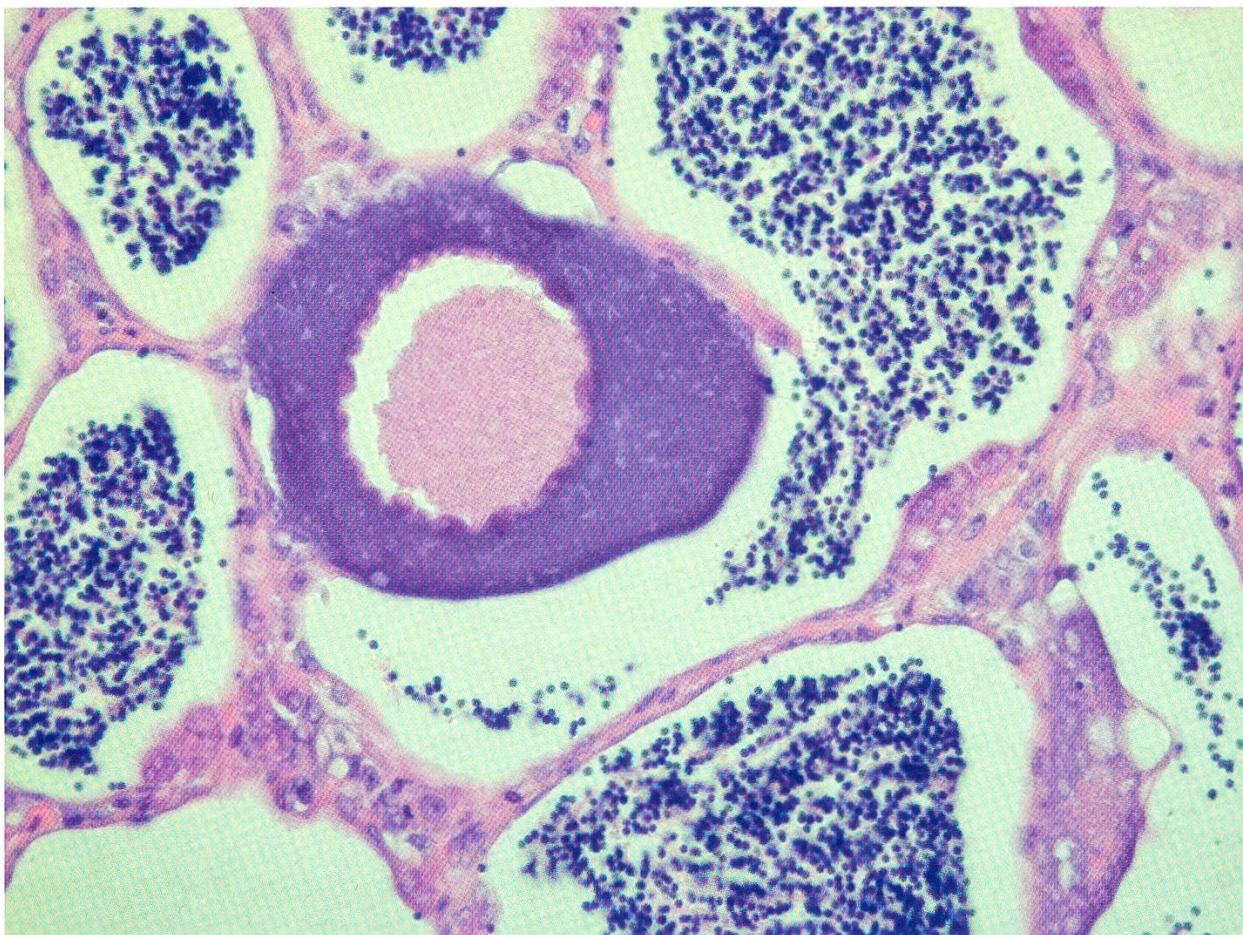


Abbildung 1: Schnitt durch das Hodengewebe eines Rotaugen-Männchens aus dem Genfersee: In der Bildmitte ist eine Eizelle sichtbar. Bild: Daniel Bernet

spricht etwa einem Kilogramm Wirkstoff im Bielersee) eine Wirkung auf Fische haben können.

Auch in der Schweiz ein Problem

Die hormonaktiven Substanzen gelangen aus zahlreichen Quellen in die Gewässer. Die wichtigste Quelle ist das kommunale Abwasser, da Kläranlagen die Stoffe meist nur unzureichend entfernen. Das Projekt «Fischnetz» identifizierte Östrogenaktive Substanzen als einen der Faktoren, die in der Schweiz einen Rückgang der Forellenzahlen um mehr als 60 Prozent seit den frühen 1980er-Jahren bewirkt haben. Von 2002 bis 2007 wurde das nationale Forschungsprogramm über hormonaktive Substanzen (NFP 50) mit dem Ziel durchgeführt, das Risiko hormonaktiver Substanzen in der Umwelt abzuschätzen. Es stellte sich heraus, dass die Östrogenkonzentrationen im Fließgewässer unterhalb von Kläranlagen deutlich grösser waren als oberhalb (Abb. 2).

Auch die Vitellogenin-Konzentrationen in männlichen Regenbogenforellen waren teilweise erhöht (Vermeirssen et al. 2005). Das Vorkommen von Vitellogenin

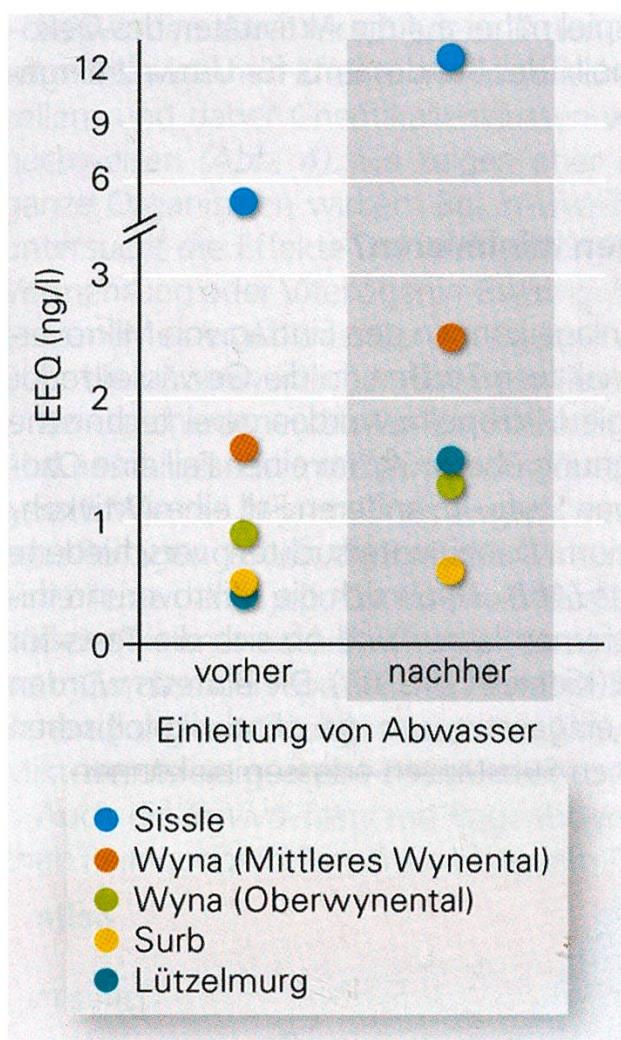


Abbildung 2: Durchschnittliche Konzentration von östrogen aktiven Stoffen (EEQ = Östradiol Äquivalente) in den Schweizer Flüssen Sissle, Surb, Lützelmurg und Wyna vor und nach der Einleitung von gereinigtem Abwasser aus Kläranlagen. Die Studie erfolgte 2004, mittlerweile wurde die Einleitung von Abwasser in die Sissle massiv reduziert. Nach Vermeirssen et al. 2005, Grafik: Eawag

in männlichen Fischen zeigt eine Belastung mit östrogenen Stoffen an. Das Protein ist ein Vorläufer des Eidotterproteins und wird natürlicherweise nur bei geschlechtsreifen weiblichen Fischen gebildet. Die Schlussfolgerungen des NFP 50 waren unter anderem:

- Hormonaktive Substanzen sind in der Schweiz ein Problem in Fließgewässern mit einer unzureichenden Verdünnung des gereinigten Abwassers;
- die Schweizer Kläranlagen sollen auf ihre Effizienz und ihr Optimierungspotenzial überprüft werden;
- die schnelle Entwicklung international standardisierter Methoden zum Nachweis östogener Substanzen und zur Überprüfung der Gewässerqualität muss unterstützt werden;
- für die praktische Anwendung müssen wissenschaftlich basierte Qualitätskriterien für hormonelle Aktivität in Gewässern definiert werden, die dann in die Schweizerische Gewässerschutzverordnung aufgenommen werden sollen.

Einigen dieser Forderungen ist das Oekotoxzentrum zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), der Eawag und weiteren Partnern in den letzten Jahren

nachgegangen. Im Folgenden soll als Beispiel näher auf die Aktivitäten des Oekotoxozentrums im Projekt «Strategie Micropoll» des Bundesamts für Umwelt eingegangen werden.

Wie lassen sich Mikroverunreinigungen minimieren?

Zusätzliche Reinigungsstufen in der Kläranlage können den Eintrag von Mikroverunreinigungen, speziell auch von hormonaktiven Stoffen, in die Gewässer reduzieren. Im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» wurden zwei technische Verfahren in einer Pilotanlage auf ihre Eignung überprüft: im einen Fall eine Ozonierung gefolgt von einer biologisch aktiven Stufe, im anderen Fall eine Aktivkohlebehandlung mit nachfolgender Filtration. Dabei untersuchten verschiedene Projektpartner mithilfe zahlreicher Biotests (Abb. 3), ob sich die Mikroverunreinigungen mit diesen Verfahren besser entfernen lassen und ob sich die Tests für die Erfolgskontrolle in Kläranlagen eignen (Kienle et al. 2011). Die Biotests wurden als Ergänzung zur chemischen Analytik eingesetzt, um die ökotoxikologischen Auswirkungen der Vielzahl an vorhandenen Substanzen erfassen zu können.

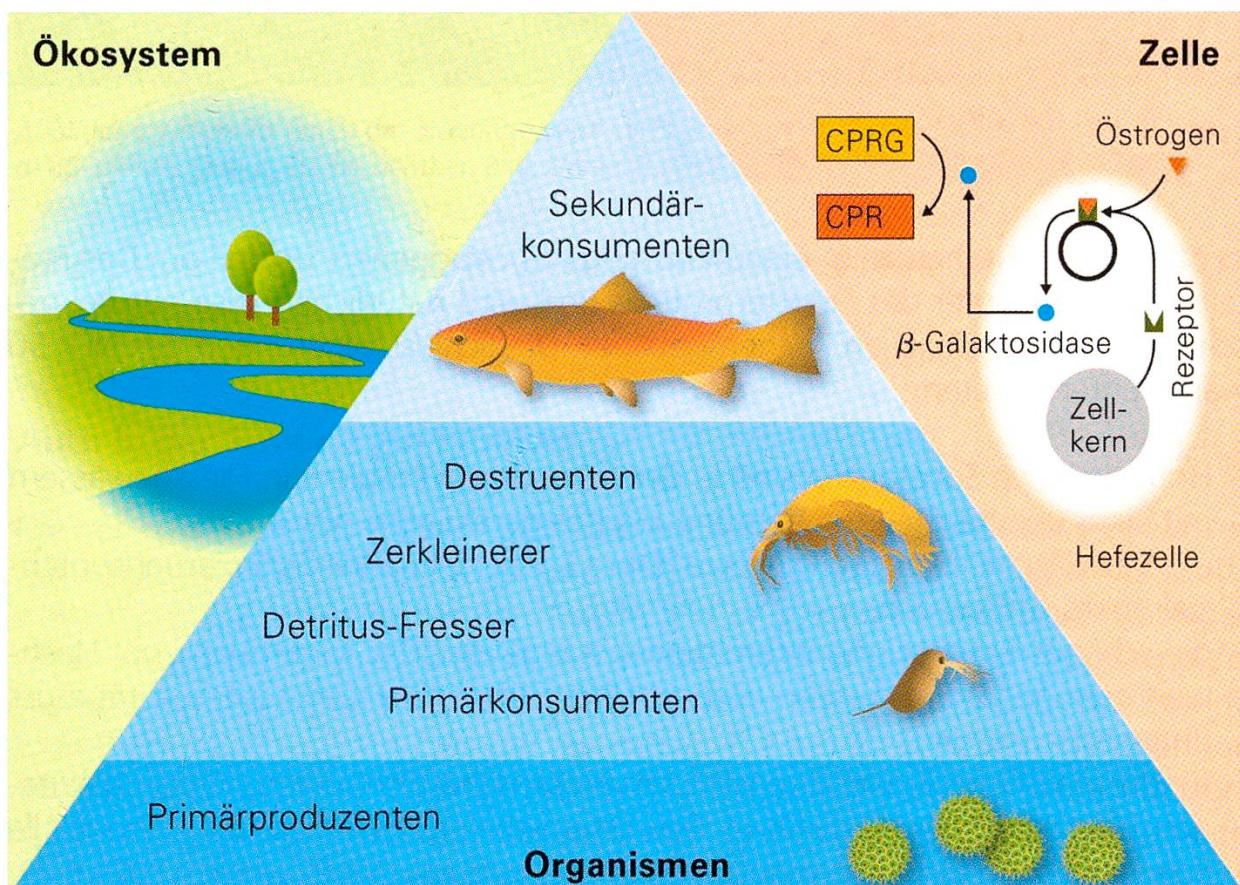


Abbildung 3: Die Effekte von Mikroverunreinigungen wurden im Projekt Strategie Micropoll auf der Ebene der Organismen, der Zelle und des Ökosystems untersucht. Je höher die Organisationsebene, desto schwieriger sind Einflussfaktoren zuzuordnen. Grafik: Eawag

Es wurden zwei verschiedene Arten von Biotests eingesetzt: Sogenannte *In-vitro*-Tests können Effekte auf spezifische zelluläre Prozesse in Zelllinien oder Einzellern und daher Chemikalienklassen wie zum Beispiel Östrogene hochsensitiv nachweisen (Abb. 4). Sie zeigen aber nur sehr begrenzt, wie Substanzen auf ganze Organismen wirken. Bei *In-vivo*-Tests nutzt man ganze Organismen und untersucht die Effekte auf biologische Funktionen wie Wachstum, Sterblichkeit, Vermehrung oder Vitellogenin-Bildung. Sie erfassen die Auswirkungen aller Substanzen in einer Abwasserprobe, geben allerdings oft nur wenige Informationen über die verantwortlichen Substanzklassen.

An verschiedenen Stellen der Pilotanlage wurden Abwasserproben genommen und anschliessend mit den verschiedenen Biotests und chemischer Analytik analysiert. Wie die *In-vitro*-Tests zeigten, verringerte bereits die bestehende biologische Reinigungsstufe die toxische Wirkung des Abwassers. Die Substanzen liessen sich alleine damit jedoch nicht vollständig entfernen. Das Abwasser enthielt unter anderem immer noch Stoffe mit östrogener Wirkung in relevanten Konzentrationen. Gemäss den spezifischen *In-vitro*-Tests entfernte dagegen eine zusätzliche Behandlung mit Ozongas oder mit Aktivkohle über 80 Prozent der verbliebenen Mikroverunreinigungen. Die chemische Analyse bestätigte dieses Ergebnis.

Auch die *In-vivo*-Tests mit Regenbogenforellen zeigten aufgrund der zusätzlichen Reinigungsstufen eine verringerte Toxizität an. So erhöhten sich die Schlupf-



Abbildung 4: Cornelia Kienle und Petra Kunz vom Oekotoxzentrum diskutieren über die Ergebnisse eines Hefezell-Östrogentests. Bild: Peter Schönenberger

rate und das Gewicht der Fischembryonen und deren Sterblichkeit nahm ab. Die Ergebnisse der übrigen *In-vivo*-Tests waren nicht einheitlich. Dies lag unter anderem an der ungenügenden Empfindlichkeit der Testsysteme. Der Vergleich der verwendeten Biotests zeigt, dass es keinen Einzeltest gibt, der sich für die Gesamtbeurteilung der Toxizität einer Abwasserprobe nutzen lässt. Um die Entfernung von Mikroverunreinigungen zu kontrollieren, eigneten sich die *In-vitro*-Tests in der untersuchten Pilotanlage allerdings besser als die *In-vivo*-Tests. Sie sind auch einfacher zu handhaben und bieten sich daher für Routineüberwachungen an.

Die Versuche mit den Biotests wiesen nach, dass eine Ozonierung oder eine Behandlung mit Aktivkohle ein breites Spektrum von Mikroverunreinigungen entfernen und die Belastung des Abwassers mit hormonaktiven Substanzen signifikant reduzieren können. Sie gaben zudem keine Hinweise darauf, dass bei der Kombination von Ozonierung und biologisch aktiver Stufe stabile, ökotoxikologisch problematische Umwandlungsprodukte entstehen. Um das Risiko zu minimieren, dass solche Verbindungen in die Gewässer gelangen, sollte daher nach einer Ozonierung stets eine Stufe mit biologischer Aktivität nachgeschaltet werden, damit diese dort abgebaut werden können.

Zum Schutz der Trinkwasserressourcen und der Wasserlebewesen hat der Bund aufgrund dieser Resultate beschlossen, mittels klar definierten Auswahlkriterien etwa 100 der 700 Kläranlagen entsprechend auszubauen (Bundesrat 2012). In Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern hat er dazu eine verursachergerechte gesamtschweizerische Finanzierungslösung erarbeitet. Gegenwärtig wird an der dazu notwendigen Änderung des Gewässerschutzgesetzes gearbeitet.

Offene Fragen klären

Obwohl in den letzten Jahren in der Schweiz viele Informationen zu den hormonaktiven Stoffen gesammelt wurden, gibt es immer noch zahlreiche offene Fragen. Beispielsweise zeigen seit ungefähr zehn Jahren viele Felchen im Thunersee veränderte Geschlechtsorgane. Trotz intensiver Forschung konnte man die Ursache für diese Veränderungen mit den angewendeten Analysemethoden und unserem Wissen über die Wirkung verschiedener Chemikalien noch nicht aufdecken (Bernet et al. 2008). Neue Befunde deuten zudem darauf hin, dass hormonaktive Stoffe nicht nur die Vermehrung der Fische beeinflussen, sondern auch deren Immunsystem schädigen können und sie so anfälliger für Krankheitserreger machen (Casanova-Nakayama et al. 2011). Solche multiplen Wirkmechanismen machen es umso schwieriger, Effekte auf der Populationsebene vorherzusagen. Überlagerungen mit den Wirkungen anderer Schadstoffe und Stressfaktoren verkomplizieren die Interpretation zusätzlich.

Allerdings wissen wir immer mehr über ökotoxikologische Wirkungen und es werden immer leistungsfähigere Screeningmethoden mit hohem Durchsatz entwickelt. So werden wir in der Praxis zunehmend besser in der Lage sein, hormon-

aktive und andere Wirkungen auf Wasserorganismen zu messen. Auch bei hochdurchsatzfähigen Verfahren bleibt es schwierig, eine Verbindung herzustellen zwischen Effekten auf molekularer Ebene und der Wirkung auf den ganzen Organismus. Hier ruht die Hoffnung auf den sogenannten Omik-Methoden wie der Transkriptomik, Proteomik und Metabolomik. Mit diesen lässt sich die Gesamtheit der Gene, Proteine oder Stoffwechselprodukte eines Lebewesens auf einmal untersuchen. Sie könnten helfen, die Stoffwechselwege zu finden, die von einer zellulären Wechselwirkung zu Schädigungen der Gesundheit führen. Dadurch würde es möglich, gezielt effektspezifische Biomarker zu erkennen, die dann in Routineuntersuchungen eingesetzt werden könnten. Erfüllt sich diese Vision, werden wir mittelfristig deutlich weniger Tierversuche benötigen, um Risiken auf Natur und Mensch vorherzusagen und die Gesundheit der Ökosysteme zu bewahren.

Literatur

- BERNET D., LIEDTKE A., BITTNER D., EGGEN R.I.L., KIPFER S., KÜNG C., LARGIADER C.R., SUTER M.J.-F., WAHLI T., SEGNER H. (2008): Gonadal malformations in whitefish from Lake Thun – Defining the case and evaluating the role of EDCs. *Chimia* 62, 383–388.
- Bundesrat (2012): Mikroverunreinigungen: Spezialfinanzierung für ARA-Ausbau in der Vernehmlassung. Medienmitteilung vom 25.04.2012: <http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medien-information/00962/index.html?lang=de&msg-id=44263>
- CASANOVA-NAKAYAMA A., WENGER M., BURKI R., EPPLER E., KRASNOV A., SEGNER H. (2011): Endocrine disrupting compounds – Can they target the immune system of fish? *Marine Pollution Bulletin* 63, 412–416.
- HUET M., PAULET Y.M., GLÉMAREC M. (1996): Tributyltin (TBT) pollution in the coastal waters of west Brittany as indicated by imposex in *Nucella lapillus*. *Marine Environmental Research* 41: 157–167.
- KIENLE C., KASE R., WERNER I. (2011): Evaluation of Bioassays and Wastewater Quality – In vitro and in vivo Bioassays for the Performance review in the Project «Strategy Micropoll». Swiss Centre for Applied Ecotoxicology, Eawag/EPFL, Dübendorf.
- NEWTON I., HAAS M.B. (1984): The return of the sparrowhawk. *British Birds* 77: 47–70.
- PURDOM C.E., HARDIMAN P.A., BYE V.J., ENO N.C., TYLER C.R., SUMPTER J.P. (1994): Estrogenic effects of effluents from sewage treatment works. *Chemical Ecology* 8, 275–285.
- VERMEIRSSEN E.L.M., BURKI R., JORIS C., PETER A., SEGNER H., SUTER M.J.-F., BURKHARDT-HOLM P. (2005): Characterization of the estrogenicity of Swiss midland rivers using a recombinant yeast bioassay and plasma vitellogenin concentrations in feral male brown trout. *Environmental Toxicology and Chemistry* 24, 2226–2232.
- WEBER D. (1990): Das Ende des Fischotters in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr 128: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

