

# Jahresbericht 2010





Die Eawag ist das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Zu diesem gehören neben den beiden Hochschulen ETH Zürich und ETH Lausanne (EPFL) die vier selbstständigen Forschungsinstitutionen Empa, PSI, WSL und Eawag. Die Eawag befasst sich – national verankert und international vernetzt – mit Konzepten und Technologien für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser und den Gewässern. In Zusammenarbeit mit Hochschulen, weiteren Forschungsinstitutionen, öffentlichen Stellen, der Wirtschaft und mit Nichtregierungsorganisationen trägt die Eawag dazu bei, ökologische, wirtschaftliche und soziale Interessen an den Gewässern in Einklang zu bringen. Sie nimmt damit eine Brückenfunktion wahr zwischen Wissenschaft und Praxis. An den Standorten Dübendorf (Zürich) und Kastanienbaum (Luzern) sind insgesamt 450 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Forschung, Lehre und Beratung tätig.

#### Umschlagsbild

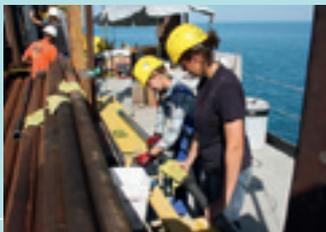
Cornelia Kienle und Tamas Mengesha vom Oekotoxzentrum der Eawag und ETH Lausanne diskutieren über die Kultivierung von Grünalgen; im Vordergrund sieht man eine Anlage zur Festphasenextraktion chemischer Substanzen aus Wasserproben. Das Oekotoxzentrum untersucht und beurteilt die Wirkung von Chemikalien auf die Umwelt und engagiert sich in der Beratung und Weiterbildung (siehe auch Seite 44).  
Foto: Peter Schönenberger, Winterthur

# Inhalt

- 2 Wort der Direktorin
- 4 Höhepunkte 2010

## 6 Forschen

- 8 Flüsse weltweit in der Krise
- 10 Was tun mit dem Spitalabwasser?
- 12 Hahnenwasser ist beliebt
- 13 Viele Fliegen auf einen Streich
- 14 Ein Leben ohne Arsen
- 16 Stauseen stossen Treibhausgase aus
- 18 Gutes Wasser aus dem Bodensee
- 19 Risikobehaftete Abbauprodukte
- 20 Überleben im Chemikaliencocktail
- 22 Anpassungsfähige Frösche
- 23 Schweres Erbe aus dem Gletscher
- 24 Umweltgeschichte aus einem türkischen See



## 26 Lehren

- 28 Komplementäre Zusammenarbeit
- 29 Analysieren und kommunizieren
- 30 Sich praxisorientiert weiterbilden
- 32 Den Horizont erweitern
- 34 Im Wald für Beruf und Leben lernen



## 36 Beraten

- 38 Mehr sauberes Wasser für diese Welt
- 39 Fische und Fischer in Bedrängnis
- 40 Geld und Energie sparen in der Abwasserreinigung
- 42 Künstlich beatmet
- 44 Viel versprechende Biotests
- 46 Das Grundwasser lebt



## 48 Die Eawag 2010

- 49 Eawag im Dialog
- 50 Auszeichnungen
- 50 Infrastruktur
- 51 Umweltmanagement
- 52 Chancengleichheit
- 52 Personelles
- 54 Organisation
- 55 Personen
- 55 Aktivitäten
- 56 Finanzen



# Die Probleme von heute lösen, die Probleme von morgen erkennen



**Eine der grossen Herausforderungen unserer Zeit ist es, dem Bedarf des Menschen nach Wasser gerecht zu werden und gleichzeitig die aquatische Umwelt und ihre Ökosystemdienstleistungen zu bewahren. Die Eawag trägt mit fundierter Fachberatung und angewandter Wissenschaft zur Lösung dieser Probleme bei. Um zukünftige Problemfelder voraussehen und benennen zu können, braucht es die Forschung als Innovationsquelle und die Lehre, um die Experten von morgen auszubilden.**

Treue Leserinnen und Leser des Eawag-Jahresberichts werden in dieser Ausgabe gewisse Veränderungen der Struktur feststellen. Unter der Rubrik «Höhepunkte» zu Beginn wollen wir in Zukunft herausragende Leistungen der Eawag würdigen. Zudem orientiert sich der Jahresbericht nicht mehr an den drei sogenannten Handlungsfeldern (aquatische Ökosysteme, urbane Wassersysteme, Chemikalien und Effekte), sondern am gesetzlichen Auftrag der Eawag: im Bereich Wasserwissenschaft und -technologie zu forschen, zu lehren und zu beraten.

Obwohl Forschung, Lehre und Beratung drei eigenständige Bereiche darstellen, sind sie doch integral miteinander verbunden. Beratung benötigt Forschung als Quelle für Innovationen und neue Lösungen, stellt diese auf der anderen Seite aber auch immer wieder vor neue Herausforderungen. Die Lehre ist nicht nur eine Investition in die Zukunft, sondern trägt überdies neue Perspektiven und Fragen in die Forschung und stellt eine Plattform für die Integration und Synthese neuen Wissens dar.

## **Der Schutz der Umwelt sichert unsere Zukunft**

Eine zentrale Lektion des internationalen Jahres der Biodiversität 2010 ist die Erkenntnis, dass nur eine intakte biologische Vielfalt die für uns Menschen überlebenswichtigen Ökosystemdienstleistungen wie sauberes Wasser oder Nahrung sicherstellt. Besonders die Bedrohung und der Verlust der Biodiversität in Süsswasserökosystemen (Seite 8) bedingen dringend ein besseres Verständnis dafür, wie der Mensch in aquatische Lebensräume eingreift. Die Eawag hat dazu im vergangenen Jahr verschiedene Beiträge geleistet: Eawag-Wissenschaftler wiesen unter anderem unerwartete anthropogene Veränderungen der Bio-Geochemie von Ökosystemen nach, zum Beispiel, dass Stauseen das Klimagas Methan produzieren und ausstossen (Seite 16); untersuchten das Vorkommen von Mikroschadstoffen in Gewässern (Seiten 18 und 19) einschliesslich heute verbotener Substanzen, die durch das Abschmelzen der Gletscher wieder in die Umwelt gelangen (Seite 23); analysierten, am Beispiel von Fröschen, die sich evolutiv an unterschiedlich saure Milieus anpassen, wie Ökosysteme oder ihre Organismen mit Umweltveränderungen umgehen können (Seite 22). Vor dem Hintergrund der Wichtigkeit ökotoxikologischen Wissens für Gesellschaft und Fachleute freut sich die Eawag auch über die praxisorientierten Aktivitäten des Schweizerischen Zentrums für angewandte Ökotoxikologie der Eawag und ETH Lausanne und die Ernennung von Inge Werner zu dessen neuer Leiterin besonders (Seite 44).

Wie sich die negativen Auswirkungen des Menschen auf die aquatische Umwelt verringern lassen, ist ein weiterer Forschungsschwerpunkt der Eawag. Um die Belastung der Gewässer durch Medikamente zu reduzieren, evaluierten Wissenschaftler beispielsweise, wie mit Spitalabwässern am besten zu verfahren ist (Seite 10). Zudem entwickelte die Eawag für die Schweiz und Entwicklungsländer innovative Technologien, mit denen sich bei der Abwasserreinigung Energie und Nährstoffe zurückgewinnen lassen (Seite 40) oder welche die negativen Auswirkungen von zu nährstoffreichen Seen dämpfen (Seite 42).

Technische Lösungen alleine garantieren die Umsetzung von Umweltmassnahmen nicht. Vielmehr entscheiden oft sozioökonomische und sozialpsychologische Faktoren über deren Erfolg oder Misserfolg. Die Bedeutung solcher Faktoren untersuchten Eawag-Forschende in zwei völlig unterschiedlichen Fällen: bei Menschen in Bangladesch und ihrem Umgang mit arsenverseuchtem Trinkwasser (Seite 14) sowie bei Menschen in der Schweiz und ihrer Vorliebe, Wasser ab Hahn oder aus der Flasche zu trinken (Seite 12).

### **Ein Ausblick auf 2011**

2011 feiert die Eawag ihren 75. Geburtstag. Dies ist nicht nur eine Gelegenheit, um vergangene Errungenschaften zu zelebrieren, sondern auch um sich kritische Gedanken zur zukünftigen Ausrichtung zu machen. Während ihrer ganzen Geschichte lag der Fokus der Eawag auf der Lösung wasserspezifischer Probleme, mit denen die Gesellschaft in der Schweiz und weltweit konfrontiert war. Die Eawag realisierte schon früh die Notwendigkeit eines soliden wissenschaftlichen Fundaments, um diese Probleme anzugehen. Später erkannte sie, dass auch die Entscheidungsprozesse in der Gesellschaft wissenschaftlich fundierte Unterstützung brauchen und damit die Notwendigkeit, Sozialwissenschaften in die Natur- und Ingenieurwissenschaften zu integrieren.

Vor diesem Erfahrungshintergrund entsteht zurzeit die Strategieplanung 2012 bis 2016 der Eawag, die 2011 abgeschlossen sein wird. Eine der grossen Herausforderungen unserer Zeit ist es, dem Bedarf des Menschen nach Wasser gerecht zu werden und gleichzeitig die aquatische Umwelt und ihre essenziellen Dienstleistungen zu erhalten. Die Eawag wird auch in Zukunft mit richtungsweisender Wissenschaft dazu beitragen, die Bereitstellung von Wasser für die Gesundheit der Menschen und der Schutz des Wassers für die Gesundheit der Ökosysteme zu sichern und die gegensätzlichen Ansprüche in Balance zu halten.

Ich freue mich, nicht nur zusammen mit meinen Kolleginnen und Kollegen an der Eawag die vergangenen Errungenschaften und Beiträge zu Wissenschaft und Gesellschaft zu feiern, sondern die Tradition der Eawag fortzuführen. Es ist ein grosses Privileg, ein solch bedeutendes Werk mitzugestalten, und ich bin überzeugt, dass die Eawag ihre Verantwortung gegenüber der Gesellschaft auch in Zukunft genauso erfolgreich wahrnehmen wird wie während der letzten 75 Jahre.

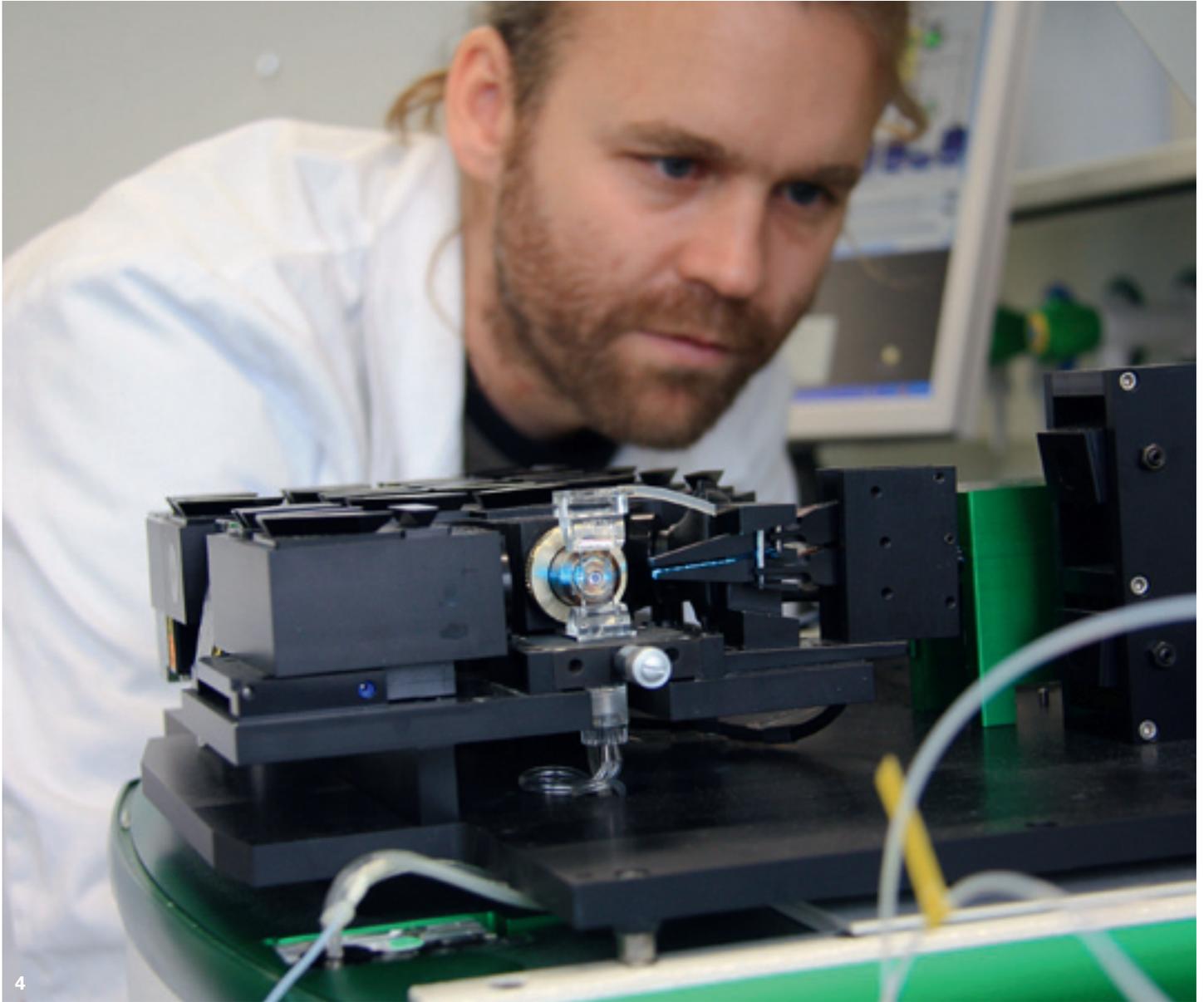


Janet Hering, Direktorin



## Höhepunkte 2010

- 1** Die Bill-und-Melinda-Gates-Stiftung unterstützt ein Projekt der Eawag und der Wasserversorgung eThekweni in Durban, Südafrika, mit drei Millionen Franken (im Bild Projektleiter Kai Udert und Obed Mlaba, Bürgermeister von Durban). Dabei will man innovative Lösungen zur Verbesserung der Siedlungshygiene erarbeiten und Methoden zum Recycling von Stickstoff, Phosphor und Kalium aus Urin weiterentwickeln. Das Projekt schliesst an das Eawag-Engagement in Nepal an, wo Forschende die Produktion des Düngers Struvit aus Urin wissenschaftlich begleiteten.
- 2** Über 200 Fachleute aus Wissenschaft, Wasserwirtschaft, Verwaltung und Politik liessen sich am jährlichen Infotag der Eawag über neue Forschungsergebnisse aus dem Bereich Biodiversität im Süsswasser informieren.
- 3** Der ETH-Rat hat vier Forschende der Eawag zu Professoren gewählt. Er wählte Janet Hering (Dritte von links) und Urs von Gunten zu ordentlichen Professoren der ETH Lausanne und ernannte die Umwelttoxikologin Kristin Schirmer (Zweite von links) und die Umweltchemikerin Juliane Hollender zu Titularprofessorinnen der ETH Lausanne beziehungsweise der ETH Zürich.
- 4** Ein Forschungsteam um Fredrik Hammes und Thomas Egli von der Eawag erhielt 2010 den Muelheim Water Award. Es hat zusammen mit zwei Kollegen der Wasserversorgung Zürich auf Basis der Durchflusszytometrie eine neue praxistaugliche Methode zur Bewertung von Trinkwasser entwickelt (siehe Artikel Seite 46).
- 5** Der Wissenschaftsbeobachtungsdienst von Thomson Reuters zeichnete in der Rubrik «Umwelt und Ökologie» zwei wissenschaftliche Publikationen der Eawag als herausragend aus. Renata Behra untersuchte in ihrer im Fachmagazin «Environmental Science and Technology» veröffentlichten Arbeit die Toxizität von Nanosilber; die Studie von Ole Seehausen im Wissenschaftsmagazin «Nature» beleuchtet die Artbildung bei Buntbarschen.
- 6** Eine Studie unter Mitarbeit von Eawag-Forscher Mark Gessner in der Zeitschrift «Nature» zeigt erstmals im globalen Massstab, wie stark Flüsse unter Druck sind. Bedroht ist nicht nur die wichtigste Ressource der Menschheit, das Süsswasser, sondern auch die Biodiversität der Flusssysteme (siehe Artikel Seite 8).



4



5

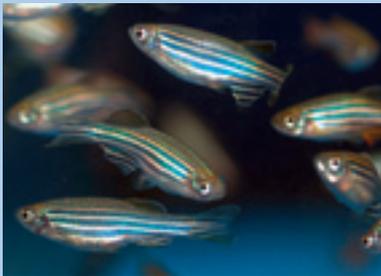


6

# Forschen

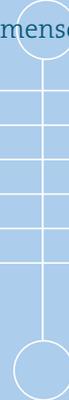
# Lehren

# Beraten



Die Eawag bestätigte 2010 mit verständnis- und lösungsorientierter Forschung ihre weltweit führende Position im Bereich der aquatischen Wissenschaften und Technologie. Gesundheit durch gute Wasserversorgung und Hygiene sowie das Funktionieren der Ökosysteme und ihre Nutzung standen dabei im Vordergrund. Als Weiterentwicklung des Abwasserprojektes Novaquatis zur Urinseparierung wurden 2010 verschiedene Projekte im Bereich der dezentralen Aufbereitung der Abwasserströme zusammen mit industriellen Partnern und Nutzerinnen und Nutzern umgesetzt.

Ausserdem wurde im Frühjahr 2010 das Nationale Forschungsprogramm NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» gestartet, an dem die Eawag wesentlich beteiligt ist. Sie kann hier vor allem ihre Stärke in der interdisziplinären und transdisziplinären Forschung nutzen. Auch im NFP 64 «Chancen und Risiken von Nanomaterialien» überzeugte die Eawag mit ihrer Expertise. Das Projekt bietet den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftern die Möglichkeit, die Wirkung von Nanomaterialien in der Umwelt zu prüfen und Empfehlungen für die Schweiz auszuarbeiten. Mit der Einrichtung ihres Kompetenzzentrums Ökologie, Evolution und Biogeochemie (CEEB) setzt die Eawag in Kastanienbaum zudem einen Schwerpunkt in der Forschung über die Funktionsweise der aquatischen Ökosysteme. Auf der Basis dieser Erkenntnisse kann sie in Zukunft die Wirkung von menschlichen Eingriffen in die Umwelt genauer beurteilen.



## Michael Berg

### Detektivarbeit am Tatort Boden

«An schätzungsweise 3000 Standorten in der Schweiz ist der Boden mit Altlasten verunreinigt», sagt der Umweltchemiker Michael Berg. Vor allem in Metall verarbeitenden Betrieben und chemischen Reinigungen sei man früher unachtsam mit chlorierten Lösungsmitteln



umgegangen. «Es muss verhindert werden, dass diese Chemikalien heute via Grundwasser ins Trinkwasser gelangen», sagt Berg. Das heisst, der Boden muss abgetragen, ausgespült oder mit Hilfsstoffen

und Mikroorganismen gereinigt werden. Das ist meistens aufwändig und teuer. Eine günstigere Alternative ist «natural attenuation», auf Deutsch «Verminderung durch die Natur». Berg: «Der Mensch unternimmt für einmal nichts und überlässt es der Natur, die Schadstoffe abzubauen.» Jedoch kann der Prozess je nach Bodenbeschaffenheit Jahrzehnte bis Jahrhunderte dauern. Der Forscher entwickelt daher Methoden, um das Potenzial des Bodens, sich quasi selbst zu reinigen, bestimmen zu können. Mit der sogenannten Isotopenanalyse kann Berg sogar vergangene Prozesse rekonstruieren und künftige voraussagen. «Der Boden ist für mich wie ein Tatort – ich will herausfinden, welche Vorgänge sich dort abgespielt haben.»

## Kathrin Fenner

### Risikoanalyse vom Computer

Wie verhalten sich chemische Stoffe in der Umwelt? Und was wäre ein nachhaltiger Umgang mit ihnen? Diesen Fragen geht die Umweltchemikerin Kathrin Fenner seit über zehn Jahren nach. Zurzeit kämen weltweit mehr als 100 000 Chemikalien zum Einsatz, sagt sie. «Viele davon stellen ein Risiko für unsere Gewässer dar.» Mit ihrer



Forschung trägt Fenner dazu bei, die Sicherheit von Trinkwasser und Oberflächengewässern zu verbessern. Dazu arbeitet sie aber nur selten am Gewässer selbst – sondern vor allem am Computer. Die Forscherin ent-

wickelt mathematische Modelle, um das Risiko neuer Chemikalien abzuschätzen, bevor diese gesetzlich zugelassen werden. «Früher wurden in solchen Modellen oft nur die Ausgangsstoffe berücksichtigt», sagt Fenner.

Allerdings werden die Chemikalien im Wasser chemisch umgewandelt, vor allem von Mikroorganismen. «Dabei entstehen Zwischenprodukte, die es im Modell ebenso zu beachten gilt.» Dank der Zusammenarbeit mit Analytikern der Eawag kann Fenner die Modelle laufend mit empirischen Daten abgleichen und entsprechend verbessern. Die Forscherin arbeitet zudem in Expertengremien in der Schweiz und in Europa mit, um die neusten wissenschaftlichen Erkenntnisse direkt in die behördlichen Richtlinien einfließen zu lassen.

## Katja Räsänen

### Veränderungen auf der Spur

Die Umwelt verändert sich laufend – und mit ihr verändern sich auch ihre Bewohner. «Doch nicht alle Arten und Individuen können das gleich gut», sagt die Biologin Katja Räsänen. Warum diese Unterschiede? In einem See auf Island untersucht Räsänen die Fresswerkzeuge



des Dreistachligen Stichlings. Deren Form hat sich zwischen 1998 und heute deutlich verändert. Da in dieser Zeit auch die Zahl der Zuckmückenlarven, Hauptnahrung der Stichlinge, stark schwankte, vermutet Räsänen, dass die Fische ihre Fresswerkzeuge mit der Zeit anderen Beutetieren anpassen: «Da sehen wir wohl einen ganz kurzen Abschnitt aus der Evolution.» Doch die Gene bestimmen

nicht alles. Wie stark sich die Stichling-Männchen um ihren Nachwuchs kümmern würden, sei zum Beispiel hauptsächlich durch die Umwelt bestimmt. «Noch einen anderen Mechanismus finden wir bei den Moorfröschen», sagt Räsänen. Wenn die Mutter aus einer sauren Umwelt stamme, könne sie ihrem Nachwuchs einen Vorteil mit auf den Weg geben. Dazu verändert sie die Gallerthülle um ihre Eier, was die Überlebenschancen der Embryos in saurem Wasser erhöht. Für ihre Forschung kombiniert Räsänen unterschiedliche Methoden: von der Untersuchung der Tiere im Feld über Laborexperimente bis hin zu molekulargenetischen Untersuchungen. «Nur so kann ich zuverlässige Schlüsse ziehen – sonst sieht man immer nur einen Teil des Ganzen.»

# Flüsse weltweit in der Krise

**Erstmals zeigt eine Studie, wie stark Flüsse weltweit unter Druck sind. Bedroht ist nicht nur das Süßwasser, sondern auch die Biodiversität der Flusssysteme. Die Arbeit macht deutlich, wie stark die gute Wasserversorgung und Abwasserentsorgung in Mitteleuropa und Nordamerika die Bevölkerung über den schlechten Zustand der Gewässerbiodiversität hinwegtäuschen.**

Von der Gewässerverschmutzung, der Landnutzung über den Verlust von Feuchtgebieten, den Bau von Dämmen und Stauseen bis zur Verbreitung von invasiven Tierarten: Daten von insgesamt 23 Faktoren hat ein internationales Forscherteam zusammengetragen, um den Zustand der Flüsse weltweit zu beurteilen. Mit einem komplexen digitalen Gewässermodell erstellten die Wissenschaftler daraus anschließend globale Karten der Gesamtbelastung für die grossen Flusssysteme der Erde.

Die im September 2010 in der Fachzeitschrift Nature publizierte Arbeit macht deutlich, dass rund 80 Prozent der Weltbevölkerung von überdurchschnittlich stark belasteten Flüssen abhängig sind. Vielfach gefährden dieselben Faktoren gleichzeitig sowohl die menschliche Nutzung sauberen Wassers in ausreichenden Mengen als auch die Biodiversität. So schmälert zum Beispiel die Abkopplung der Auen von einem Fluss den Hochwasserrückhalt und die Grundwasseranreicherung und entzieht gleichzeitig selten gewordenen Arten den Lebensraum.

## Die Schweiz ein Entwicklungsland

«Wir dürfen die Fragen rund um das Wasser für den Menschen und um die Biodiversität nicht länger getrennt voneinander betrachten», sagt Mark Gessner, der an den Untersuchungen mitbeteiligt war und bis Ende 2010 an der Abteilung Aquatische Ökologie der Eawag forschte. Der Gewässerökologe ist einer der Initiatoren des interdisziplinären Projekts, das aus einer Zusammenarbeit zwischen dem Internationalen Wissenschaftsforum für Biodiversität

(Diversitas) mit Sitz in Paris und dem Global Water System Project (GWSP) mit Sitz in Bonn hervorgegangen ist.

«Obwohl wir uns in den industrialisierten Ländern seit Jahrzehnten um sauberes Wasser bemühen und uns für den Gewässerschutz engagieren, zeigt die Synthese, dass die Flüsse auch in Ländern wie den USA und im westlichen Europa unter massivem Druck stehen», so Gessner. Grosse Investitionen in die Wasserreinigung, die Wasseraufbereitung und den Hochwasserschutz hätten verhindern können, dass die Situation für die Bevölkerung problematisch geworden sei. «Aber vergleichbare Massnahmen zum Erhalt der Biodiversität gibt es nicht», sagt der Wissenschaftler. Die Bedrohung der Biodiversität unterscheidet sich darum hierzulande kaum von der prekären Situation in vielen Entwicklungsländern.

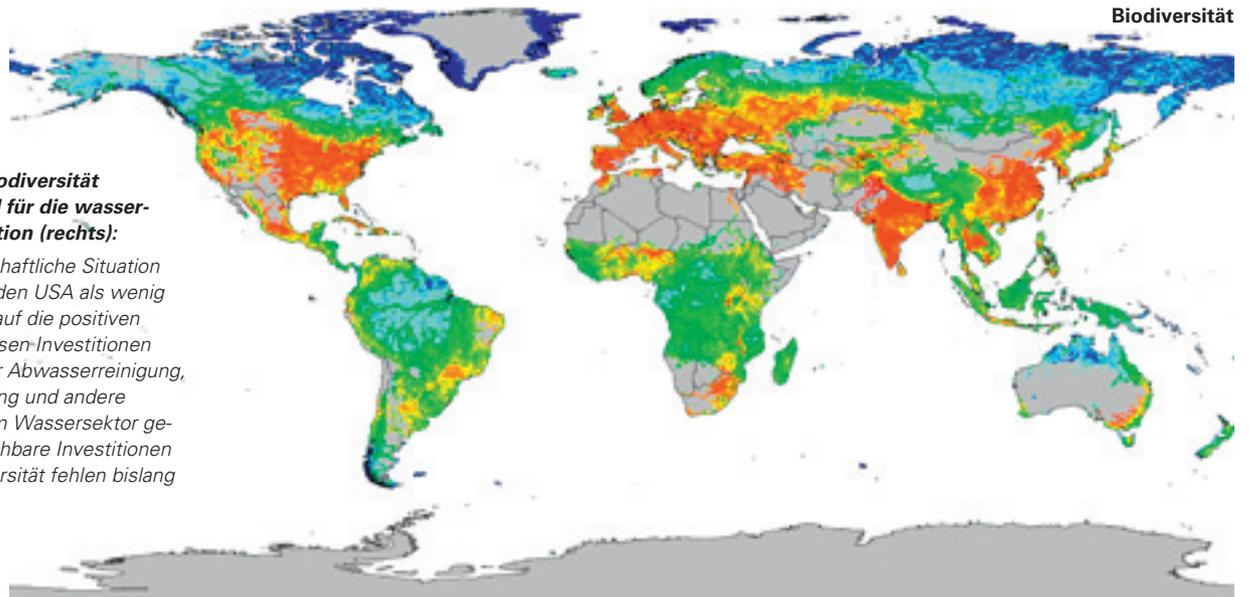
## Aus den Fehlern der anderen lernen

Es sei wie in der Medizin, sagt der Erstautor des Artikels, Charles Vörösmarty von der City University New York: «Letztlich zeigt unsere Studie, dass es viel günstiger ist, Gefahren frühzeitig zu erkennen und zu begrenzen, als Schäden später zu erkennen und zu heilen.»

Die weltweite Analyse, so hoffen die Autoren, könnte Regierungen und Planern in vielen Teilen der Welt helfen, im Wassermanagement nicht die Fehler der reichen Länder zu wiederholen, sondern aus den gemachten Erfahrungen zu lernen. Statt Milliarden ausschliesslich für punktuelle Wiederherstellungsmassnahmen und für Technologien aufzuwenden, gelte es, grundlegend neue

### Bedrohung für die Biodiversität der Flüsse (links) und für die wasserwirtschaftliche Situation (rechts):

*Dass die wasserwirtschaftliche Situation in Westeuropa und in den USA als wenig bedroht erscheint, ist auf die positiven Wirkungen der immensen Investitionen zurückzuführen, die für Abwasserreinigung, Trinkwasseraufbereitung und andere technische Bereiche im Wassersektor getätigt wurden. Vergleichbare Investitionen im Bereich der Biodiversität fehlen bislang weitgehend.*





Uferverbauungen, Begradigungen und Stauhaltungen – das typische Bild der Flüsse in den Industrieländern. Am meisten leidet darunter die Biodiversität. Im Bild die Aare.

Konzepte und Strategien zu entwickeln. Diese müssten die Biodiversität neben der Sicherung aller wasserwirtschaftlichen Aspekte zugunsten des Menschen gleichwertig berücksichtigen. «Mit der Wasserrahmenrichtlinie hat die EU einen wichtigen Schritt in die richtige Richtung getan», sagt Gessner, «nationale und regionale Aktivitäten sowie internationale Abkommen zum grenzübergreifenden Schutz und Management von Wasser- und Gewässersystemen können dank unserer Resultate jetzt noch besser begründet werden.»

### Basisdaten fehlen oft

Trotz der klaren Resultate sind die Autoren der Studie vorsichtig mit ihren Schlussfolgerungen – dies, weil in vielen Fällen die Datengrundlage unzureichend ist. «Es fehlen vor allem Informationen, die international vergleichbar sind», sagt der Zoologe Peter McIntyre von der Universität Wisconsin. Er fordert deshalb, dass die Verwaltungen den vielerorts vorherrschenden Abbau im

### 23 Schlüsselgrößen

Hinter den erstellten Weltkarten steht eine enorme Datenmenge. In die Modellierung einbezogen wurden 23 Schlüsselgrößen unterteilt, in die folgenden vier Gruppen:

- ▶ Informationen zur Landnutzung im Einzugsgebiet: zum Beispiel Anteil Ackerland, Viehbestand, Bodenversiegelung.
- ▶ Verschmutzung: zum Beispiel Stickstoff- und Phosphoreinträge, Bodenversalzung und Pestizideinsatz.
- ▶ Flussbauliche Massnahmen und Eingriffe in die Hydrologie: zum Beispiel Anzahl Stauhaltungen, Fragmentierung der Flusssysteme, Wasserentnahmen.
- ▶ Biotische Faktoren: zum Beispiel Anteil und Anzahl der nicht einheimischen Fischarten, Belastung durch Aquakultur.

Um die Bedrohung für die wasserwirtschaftliche Situation und für die Biodiversität getrennt zu ermitteln, gewichteten die Forschenden dieselben Schlüsselgrößen für die beiden Betrachtungen jeweils unterschiedlich. Trotzdem zeigen die globalen Muster zur Wasserwirtschaft und zur Biodiversität eine überraschend hohe Übereinstimmung. Grosse Verschiebungen resultieren erst, wenn für die Qualität der Wasserwirtschaft die positiven Folgen der Investitionen in Wassertechnologien berücksichtigt werden. So lässt sich zum Beispiel in Westeuropa und Ostaustralien die geringe effektive wasserwirtschaftliche Bedrohung erklären, während sie in Osteuropa, Indien und China hoch bleibt.

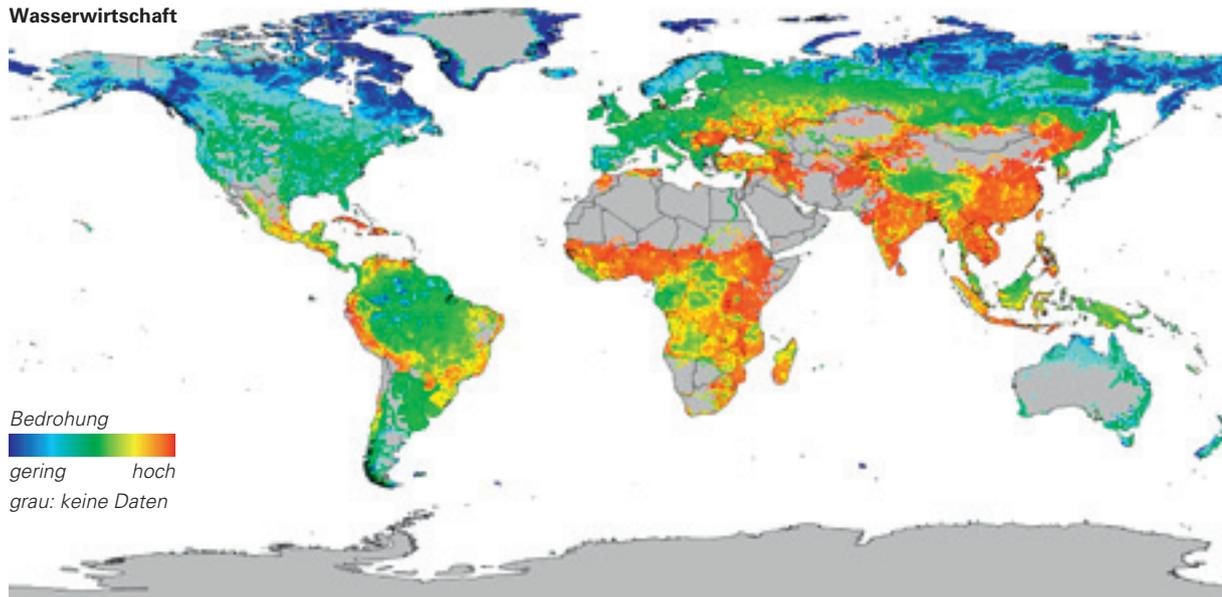
Umweltmonitoring stoppen und mehr in die Erhebung von Basisinformationen zur Wasserqualität und -quantität investieren sollen. «Patienten in der Notaufnahme werden auch nicht behandelt, ohne ihre lebenswichtigen Funktionen mit Geräten zu überwachen. Doch genau das tun wir weltweit mit den Flüssen», zieht McIntyre den Vergleich. Die Datengrundlage in der Schweiz bezeichnet Gessner in den Bereichen Hydrologie und Wasserqualität hingegen als gut, vor allem dank der Messnetze von Bund und Kantonen. Im Bereich Biodiversität, so Gessner, bestünden jedoch sehr grosse Lücken. ○ ○ ○

[www.riverthreat.net](http://www.riverthreat.net)

Kontakt:

Prof. Mark Gessner, seit 2011 am Leibniz-Institut für Gewässerkunde und Binnenfischerei und an der Technischen Universität Berlin, [gessner@igb-berlin.de](mailto:gessner@igb-berlin.de)

### Wasserwirtschaft



# Was tun mit dem Spitalabwasser?

**Spitalabwasser enthält wie kommunales Abwasser Medikamentenrückstände, die von Kläranlagen nur unzureichend entfernt werden. Für Spitäler mit einer hohen Belastung kann daher eine separate Abwasserbehandlung sinnvoll sein. Sozialwissenschaftliche Entscheidungsanalysen helfen, im einzelnen Fall eine Lösung zu finden, die bei den beteiligten Akteuren breit abgestützt ist.**

Medikamentenrückstände gelangen via Toilette und Kanalisation auch in Flüsse und Seen, denn viele werden von den Kläranlagen nicht aus dem Abwasser entfernt. Ob und wie sich die pharmazeutische Fracht auf Wasserlebewesen auswirkt, ist weitgehend unbekannt. Von hormonaktiven Stoffen weiss man immerhin, dass sie unter anderem bei Fischen zu Fruchtbarkeitsstörungen führen können. Eawag-Forschende versuchten im Rahmen nationaler und internationaler Projekte (für Projektpartner siehe Webseiten unten) herauszufinden, welche Bedeutung Spitäler für den Eintrag von Arzneimitteln haben und welche Technologien sich eignen, um Spitalabwässer vor Ort aufzubereiten.

## Grosse Unterschiede zwischen den Spitälern

Christa McArdell von der Abteilung Umweltchemie und ihre Mitarbeitenden evaluierten den Spitalverbrauch der 100 in der Schweiz am häufigsten eingenommenen Medikamente. Dazu untersuchten sie die Abwässer des Kantonsspitals Baden (KSB) und der Integrierten Psychiatrie Winterthur (IPW). «Kliniken verabreichen hierzulande rund 20 Prozent der Arzneimittel», sagt McArdell.

Je nach Ausrichtung eines Spitals variiert die Menge allerdings sehr. So verbrauchte das KSB im Jahr 2007 zum Beispiel rund 1200 Kilogramm, die IPW nur 50. Dementsprechend trugen die beiden Institutionen unterschied-

lich stark zur Abwasserbelastung bei. Im Fall von Baden stammten rund 40 Prozent der Medikamentenrückstände in der lokalen Kläranlage vom KSB, während die IPW in Winterthur lediglich 5 Prozent beitrug. «Das zeigt, dass einzelne Krankenhäuser wichtige Quellen für Arzneimittel im Abwasser sind», erläutert die Umweltchemikerin.

Die beiden Kliniken unterschieden sich aber auch hinsichtlich der verwendeten Pharmazeutika deutlich. Im KSB machten alleine Röntgenkontrastmittel fast 60 Prozent der Substanzen aus; in der IPW dominierten Abführmittel sowie schmerz- und entzündungshemmende Arzneien. Obwohl die Patienten die Medikamente in den Kliniken zu sich nahmen, schieden sie nur einen Teil davon auch vor Ort wieder aus. So konnten die Forschenden nur 50 bis 80 Prozent der verabreichten Röntgenkontrastmittel im Spitalabwasser nachweisen, der Rest gelangte ins Siedlungsabwasser.

## Reales Gefahrenpotenzial

Wie ökotoxikologische Untersuchungen von Beate Escher zeigen, kamen die meisten der analysierten Wirkstoffe in den Spitalabwässern in Konzentrationen vor, von denen keine akute Gefahr für die Umwelt ausgeht. «Allerdings liegen die Substanzen im Abwasser nicht einzeln, sondern als Gemische vor, sodass sich ihre Wirkungen summieren», erklärt sie. Betrachtet man die Ökotoxizität der Wirkstoffgemische, bergen die Spitalabwässer durchaus ein reales Gefährdungspotenzial für die aquatische Umwelt.

Für eine Risikoabschätzung sei es zudem wichtig, nicht wie üblich nur die Pharmazeutika zu evaluieren, die in grossen Mengen verbraucht würden, betont sie, sondern auch jene, die besonders toxisch seien. So waren im Abwasser des KSB für über 99 Prozent des gesamten Gefährdungspotenzials lediglich 14 Prozent der Wirkstoffe verantwortlich.

Für Spitäler mit einer hohen Medikamentenbelastung wäre eine separate Behandlung des Abwassers laut McArdell vorteilhaft, um die Kläranlagen zu entlasten. Obwohl von den dominierenden Röntgenkontrastmitteln keine direkte Gefahr für die Umwelt ausgeht, sie sich aber nur sehr langsam abbauen, sei es im Sinne der Vorsorge wünschenswert, wenn sie nicht in grossen Mengen in die Gewässer gelangten.

## Zusätzliche Reinigungsstufen nötig

Um herauszufinden, mit welchen Verfahren sich die Medizinalstoffe am effektivsten aus dem Spitalabwasser eliminieren lassen, installierten McArdell und Lubomira Kovalova zusammen mit Hansruedi Siegrist und Jakob



Lubomira Kovalova steigt in den Schacht des Kantonsspitals Baden, wo das Abwasser für die Pilotanlage entnommen wird.

Eugster von der Abteilung Verfahrenstechnik im Kantonsspital Baden eine Pilotanlage. Sie besteht aus einer mechanischen und biologischen Reinigungsstufe, wobei ein Membranbioreaktor mit einem Membranfilter verwendet wird. «Der Membranbioreaktor dient als wichtige Reinigungsstufe und kann Krankheitserreger, zum Beispiel antibiotikaresistente Bakterien, zurückhalten, Arzneimittel aber nur unvollständig aus dem Abwasser entfernen», sagt McArdell. Viele Substanzen liessen sich damit um weniger als 20 Prozent vermindern.

Deshalb behandelten die Forschenden das vorgereinigte Wasser zusätzlich entweder mit pulverförmiger Aktivkohle oder mit Ozon. Beim ersten Verfahren lagern sich die Mikroverunreinigungen an die Kohlepartikel, die anschliessend mittels Sedimentation oder Filtration aus dem Wasser entfernt und verbrannt werden. Im zweiten Fall oxidiert dem Abwasser zugeführtes Ozon-Gas die unerwünschten Wirkstoffe und baut sie dadurch ab.

Mit beiden Methoden konnten sie einen Grossteil der Pharmazeutika mehr oder weniger vollständig aus dem Abwasser entfernen. Vor allem die Röntgenkontrastmittel liessen sich damit jedoch nur ungenügend reduzieren. «Da die Kontrastmittel hauptsächlich über den Urin ins Wasser gelangen, wäre in diesem Fall eine Separatsammlung eine probate Lösung», meint McArdell. Man könne den Patientinnen und Patienten beispielsweise Urinbehälter abgeben. Damit liessen sich zudem auch die Kontrastmittel-Einträge ausserhalb der Spitäler erfassen.

Eine vollumfängliche Elimination der Pharmazeutika aus dem Spitalabwasser böte die Umkehrosiose, wie sie auch bei Anlagen zur Meerwasserentsalzung zum Einsatz kommt. Hierbei wird das Wasser unter Druck durch einen feinporigen Filter gepresst, welcher die Verunreinigungen zurückhält. Das Verfahren steckt für die Abwasserreinigung aber noch in den Kinderschuhen und ist relativ teuer.

### Alle relevanten Akteure einbeziehen

Wie die Gesellschaft mit dem Problem Spitalabwasser letztlich umgeht, liegt nicht allein im Entscheidungsbereich der Wissenschaft. Doch bietet diese – neben natur- und ingenieurwissenschaftlichen Methoden – auch sozialwissenschaftliche Werkzeuge, um komplexe Entscheidungsprozesse mit vielen Akteuren und unterschiedlichen Interessen systematisch zu erfassen, transparent und dadurch besser abgestützt zu gestalten.

Im Fall des Spitalabwassers wendeten Judit Lienert und Nele Schuwirth der Abteilung Systemanalyse und Modellierung für das KSB und für die IPW ein solches Verfahren an: die multikriterielle Entscheidungsanalyse. Bei dieser Methode geht es darum, eine Art Auslegeordnung der zur Verfügung stehenden technischen Lösungen eines Problems und den Vorlieben der relevanten Akteure zu erstellen sowie die Akzeptanz der einzelnen Ansätze zu bewerten. «Allfällige Interessenkonflikte lassen sich damit rasch erkennen», sagt Lienert.

Ausgehend von den Erkenntnissen ihrer Kolleginnen stellten Lienert und Schuwirth für beide Kliniken ein breites Spektrum möglicher Massnahmen zur Abwasser-



Im Labor werden die Abwasserproben mit aufwändigen chemischen Analysen untersucht.

behandlung zusammen und identifizierten vier Hauptziele: geringe Kosten, gute Abwasserqualität, geringer Aufwand für Angestellte und Patienten sowie eine positive öffentliche Wahrnehmung. Um die Prioritäten der involvierten Akteure bezüglich Ziele und Auswirkungen der Massnahmen zu ermitteln und bewerten, führten sie bei Ökotoxikologie-Fachleuten, Ingenieuren, Gewässerschutzfachstellen, Gesundheitsbehörden, Spitalleitung und -personal strukturierte Befragungen durch.

«Im Fall des Kantonsspitals mit seiner relativ hohen Arzneimittelbelastung zeigte die Entscheidungsanalyse, dass eine umfassende Behandlung des Abwassers die beste Lösung wäre», kommentiert Lienert die Ergebnisse. Die Kosten spielten dabei keine prioritäre Rolle. Die Umkehrosiose, das gründlichste, aber auch teuerste Verfahren, erfüllte die persönlich gewichteten Ziele der Befragten dabei am besten, gefolgt von Vakuumtoiletten mit anschliessender Verbrennung der Ausscheidungen. Bei der Psychiatrischen Klinik, die nur einen geringen Anteil zur Pharmazeutika-Fracht der Kläranlage beiträgt, waren die Kosten eher ein kritischer Faktor.

«Gerade bei komplexen Problemstellungen ist eine solche Entscheidungsanalyse sinnvoll, geht es doch darum, möglichst breit abgestützte Massnahmen zu realisieren», sagt Lienert. «Nur so ergeben sich Lösungen, die auch wirklich greifen.»



<http://tinyurl.com/eawag-spitalabwasser>  
<http://tinyurl.com/eawag-entscheidungsanalyse>

Kontakt:

Dr. Christa McArdell, [christa.mcardell@eawag.ch](mailto:christa.mcardell@eawag.ch)  
 Dr. Judit Lienert, [judit.lienert@eawag.ch](mailto:judit.lienert@eawag.ch)

# Hahnenwasser ist beliebt

**Leitungswasser ab dem Hahn oder Mineralwasser aus dem Laden? Wie sich Schweizerinnen und Schweizer bei dieser Frage entscheiden, hat viel mit ihren sozialen Gewohnheiten zu tun – insbesondere mit der Familie.**

Hahnenwasser ist billiger und umweltfreundlicher als Mineralwasser aus der Flasche und steht in der Schweiz als Getränk hoch im Kurs. So ergaben Umfragen des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfachs (SVGW) 2001 und 2006, dass Schweizerinnen und Schweizer ihr «Hahnenburger» sehr schätzen und häufig trinken. Auf der anderen Seite zeigen aktuelle Verkaufszahlen, dass der Umsatz von Flaschenwasser in der Schweiz steigt.

## Bequem und leicht verfügbar

Psychologen unter der Leitung von Hans-Joachim Mosler von der Forschungsabteilung Systemanalyse und Modellierung der Eawag gingen deshalb der Frage nach, warum Schweizerinnen und Schweizer zum Flaschenwasser greifen, obwohl das Leitungswasser so gute Noten bekommt. Die Sozialwissenschaftler wollten dabei die psychologischen Faktoren ergründen, die für den Konsum von Flaschen- beziehungsweise Leitungswasser massgeblich sind.

Um dies zu erfahren, befragten sie 731 deutschsprachige Schweizerinnen und Schweizer im Alter zwischen 14 und 90 Jahren mit einem Fragebogen. Dieser enthielt Fragen zum Trinkverbrauch, zum demografischen und sozialen Hintergrund sowie zu den Beweggründen und

emotionalen Faktoren des Konsums, wie zum Beispiel die wahrgenommene Wasserqualität, die Bequemlichkeit, Gesundheitsaspekte oder das Preisempfinden.

Die Ergebnisse unterstreichen die hohe Wertschätzung für Hahnenwasser. Etwa 50 Prozent der Befragten trinken demnach zu Hause ausschliesslich Hahnenwasser, bloss 10 Prozent trinken nur Flaschenwasser, der Rest gehört zu den Gemischttrinkern. Am Arbeitsplatz trinken immer noch über 40 Prozent ausschliesslich Hahnenwasser, während der Anteil der reinen Flaschentrinker nun aber bei über 30 Prozent liegt.

Letztere geben an, dass ihnen am Arbeitsplatz Umweltaspekte weniger wichtig, kohlenstoffhaltiges Wasser dagegen wichtiger seien als zu Hause. Ausserdem beobachten sie im Arbeitsumfeld häufiger Personen, die Flaschenwasser trinken, was die Vorliebe zu beeinflussen scheint.

Der Kauf von Flaschenwasser hält sich ebenfalls in einem überschaubaren Rahmen. Nur etwas mehr als die Hälfte der befragten Personen kauft überhaupt Flaschenwasser, und dann in einer Menge von durchschnittlich rund 9 Litern pro Woche (ein übliches Sechserpack). Demgegenüber kaufen reine Flaschentrinker pro Woche rund 12,5 Liter Wasser.

Analog zu den Untersuchungen des SVGW konnten die Forschenden auch die hohe Zufriedenheit mit dem Schweizer Leitungswasser bestätigen. Demnach sind 82 Prozent der Befragten damit zufrieden oder sehr zufrieden – und das Ausmass der Zufriedenheit spielt letztlich auch eine Rolle bei der Konsumententscheidung: Wer mit Leitungswasser zufrieden oder mit Flaschenwasser unzufrieden ist, entscheidet sich sowohl zu Hause als auch am Arbeitsplatz mehrheitlich für Leitungswasser. Einen ebenso positiven Einfluss zugunsten des Hahnenwasserkon-

sums zu Hause haben Aspekte wie Bequemlichkeit und Verfügbarkeit. Wichtig sind zudem die Reinheit des Wassers und das Vertrauen in dessen Qualität.

## Familienbände

Ein besonders wichtiger Grund für den Konsum von Mineralwasser aus der Flasche ist die Vorliebe für Kohlensäure. Wer Kohlensäure mag, sprudelt das Wasser nicht selbst auf, sondern kauft es in der Flasche. Aber auch die Gewohnheit scheint Konsumenten zu eingefleischten Flaschenwassertrinkern zu machen.

Interessanterweise ist Wasserkonsum nicht nur eine individuelle Entscheidung. Vielmehr lenkt das soziale Umfeld die Vorliebe. Zwar beeinflusst die gefühlte Pflicht, im Restaurant Flaschenwasser zu bestellen, den Konsum zu Hause und am Arbeitsplatz nicht, wohl aber trinken Schweizerinnen und Schweizer mehrheitlich jenes Wasser, das auch ihre Verwandten, Freunde und Bekannten trinken. Obendrein fühlen sie sich zu Hause eher verpflichtet, Gäste mit Flaschenwasser zu bewirten als mit Hahnenwasser.

Nach wie vor scheint das Wasser vom Hahn also bei Herr und Frau Schweizer sehr beliebt zu sein. Sollte sich dies dereinst ändern und will man die Konsumenten zur Rückkehr zum Hahnenwasser bewegen, ist weniger beim Preis oder bei der Qualität anzusetzen als beim Gewohnheitsverhalten der sozialen Gruppen. ○ ○ ○



Stefan Kubli

Die Schweiz ist ein Land der Hahnenwassertrinker.

[www.eawag.ch/forschung/siam](http://www.eawag.ch/forschung/siam)

Kontakt:  
Sören Vogel,  
soeren.vogel@eawag.ch  
Prof. Hans-Joachim Mosler,  
hans-joachim.mosler@eawag.ch  
Dr. Robert Tobias,  
robert.tobias@eawag.ch

# Viele Fliegen auf einen Streich

**Das Wegwerfen von organischem Abfall führt in Entwicklungsländern zu Hygieneproblemen und Umweltverschmutzung. Eine Müllverwertung mit Fliegenmaden könnte dem abhelfen und dem lokalen Gewerbe erst noch eine Einkommensquelle bescheren.**

Das Abfallmanagement in Entwicklungs- und Schwellenländern hat sich in den letzten Jahren stark verbessert. Vor allem wiederverkäufliche Materialien wie Metall, Kunststoff oder Glas landen auch dort immer häufiger in Recyclingzentren. Demgegenüber enden organische Haushalt- und Marktabfälle meist auf Müllhalden, in Strassengraben oder Gewässern, wo sie nicht selten zu Brutstätten für Krankheitserreger werden oder ihr unkontrollierter Abbau Klimagase wie Methan freisetzt. «Hätten die Abfälle einen konkreten Wert, würden sie ebenfalls vermehrt gesammelt», sagt Stefan Diener von der Forschungsabteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern. Er ist überzeugt, dass man die Hygieneprobleme und die Umweltverschmutzung mit den richtigen Anreizen beträchtlich vermindern kann.

## Neues Produkt aus Abfall

Der Forscher setzt dabei auf eine unkonventionelle Lösung: Maden der Schwarzen Waffenfliege (*Hermetia illucens*). Die Larven vertilgen während ihrer Entwicklung grosse Mengen verrottenden Materials, was sich nach Dieners Meinung zum Abbau organischer Abfälle in industriellem Rahmen nutzen liesse. Und mit den sich vollfressenden Maden entstünde quasi nebenbei ein Produkt, mit dem das lokale Gewerbe Geld verdienen könnte: «Die ausgewachsenen Larven, die sogenannten Prä-



Die Fliegenlarven sind reich an Eiweissen und Fett.

puppen, bestehen zu 40 Prozent aus Eiweissen und zu 30 Prozent aus Fett», sagt Diener, «und sind eine wertvolle und nachhaltige Alternative zu dem heute in der Tierfutterindustrie verwendeten Fischmehl». Dieses stammt meist nicht aus Fischabfällen, sondern aus der Hochseefischerei und ist damit Teil der Überfischungsproblematik. Zudem verdreifachte sich der Preis für Fischmehl in den letzten zehn Jahren, so dass vor allem für die in Entwicklungsländern boomende Aquakultur ein Umsteigen auf andere tierische Eiweissquellen auch aus ökonomischen Gründen unumgänglich ist.

Dass der Abbau organischer Abfälle mit den Fliegenlarven vom Prinzip her tatsächlich funktioniert, konnte Diener anhand einer Versuchsanlage an der Universidad Earth im costaricanischen Guácimo zeigen. Diese besteht aus mehreren Wannen von jeweils 2 Metern Länge und 80 Zentimetern Breite, die der Forscher mit *Hermetia*-Larven bestückte und regelmässig mit frischem Haushaltsabfall versorgte. Um bis zu 80 Prozent der Trockenmasse reduzierten die hungrigen Maden dabei die Abfallmenge. In der Pilotanlage verarbeitete er auf diese Weise über 2 Tonnen organisches Material und konnte rund 80 Kilogramm Präpuppen ernten. Trotz des erfolgreichen Praxistests sei man aber noch im Versuchsstadium, betont Diener, und könne eine solche Anlage noch nicht in industriellem Massstab betreiben.

Die Waffenfliegen eignen sich nicht nur aufgrund der gründlichen Verwertung ideal für das kombinierte Entsorgungs- und Produktionskonzept. Die in den Tropen und Subtropen heimischen und auch im Tessin vorkommenden Insekten übertragen auch keine Krankheiten und sie lassen sich sehr einfach ernten. «Sobald sie das Präpuppen-Stadium erreichen, hören sie mit Fressen auf,



Eine Studentin in der Pilotanlage in Costa Rica überprüft, wie die Maden den Abfall verwerten.

kriechen aus dem Abfall und können bequem eingesammelt und weiterverarbeitet werden», sagt Diener.

## Auch mit Fäkalien möglich

Neben der Verwertung zu proteinreichem Tierfutter sieht der Wissenschaftler für die Präpuppen noch weitere Verwendungsmöglichkeiten. So könne man das Chitin, aus dem vor allem die Aussenhaut der Tiere besteht, zur Herstellung von Kollagen für die Wundheilung einsetzen, und aus dem Fett lasse sich Biotreibstoff produzieren. «Der verbleibende Abfall, im Wesentlichen ist das Larvenkot, kann zudem als Dünger verwendet oder in einer Vergärungsanlage in Biogas umgewandelt werden», so Diener.

Die Produktion der Fliegenmaden beschränkt sich überdies nicht auf Haushaltsabfälle. Erste Untersuchungen der Eawag und des Asian Institute of Technology in Bangkok haben gezeigt, dass das System auch bei getrocknetem Fäkalschlamm erfolgreich anwendbar ist. Besonders effizient scheint die Verwertung dabei, wenn den Fäkalien zusätzlich Haushalts- und Marktabfälle beigemischt werden. ○ ○ ○

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

Kontakt: Dr. Stefan Diener, [stefan.diener@eawag.ch](mailto:stefan.diener@eawag.ch)

# Ein Leben ohne Arsen

**Das Grundwasser vieler Regionen Südostasiens ist mit Arsen verseucht. Der regelmässige Konsum führt zu schweren gesundheitlichen Schäden. In Vietnam lassen sich dank einer dreidimensionalen Risikokarte nun arsenarme Trinkwasserbrunnen planen. Ob die lokale Bevölkerung tatsächlich arsenfreies Trinkwasser bevorzugt, hängt aber auch von psychologischen Faktoren ab.**

Hohe Arsenkonzentrationen im Trinkwasser gefährden weltweit über 100 Millionen Menschen. Arsen kommt natürlicherweise überall in Gesteinen und vor allem in geologisch jungen Sedimenten vor. Löst sich das Spurenelement im Grundwasser, kann es sich dort anreichern. Der regelmässige Konsum arsenverseuchten Wassers führt oft zu schweren gesundheitlichen Schäden bis hin zu Krebs.

Besonders häufig tritt kontaminiertes Grundwasser in den Flussdeltas Südostasiens auf, das zugleich für viele Menschen eine wichtige Trinkwasserquelle darstellt. So fanden Forschende der Eawag heraus, dass im Delta des Roten Flusses in Vietnam rund drei Millionen Menschen von arsenverseuchtem Wasser bedroht sind.

Von den rund 17 Millionen Bewohnerinnen und Bewohnern, die in der Deltaregion leben, haben 11 Millionen keinen Zugang zur öffentlichen Wasserversorgung und sind überwiegend auf Grundwasserbrunnen angewiesen.

## Symptome entwickeln sich schleichend

Während fünf Jahren untersuchten Michael Berg, Caroline Stengel und Lenny Winkel von der Forschungsabteilung Wasserressourcen und Trinkwasser der Eawag zusammen mit Kollegen der Hanoi University of Science das Grundwasser der Region auf die Belastung mit Arsen und anderen Elementen. Dazu analysierten sie Proben aus über 500 privaten Grundwasserbrunnen der

14 000 Quadratkilometer grossen Deltaregion einschliesslich der Hauptstadt Hanoi.

«Bei 27 Prozent aller Brunnen überstieg die Arsenkonzentration den von der Weltgesundheitsorganisation WHO als unbedenklich festgelegten Grenzwert», sagt Berg. Gemäss WHO sind Konzentrationen von weniger als 10 Mikrogramm pro Liter unbedenklich. Bereits in einer früheren Studie hatten die Wissenschaftler zum Teil Konzentrationen gemessen, die mehr als das Hundertfache über dem WHO-Standard lagen. Bei einem Konsum ab 50 Mikrogramm pro Liter über längere Zeit kann eine chronische Arsenvergiftung auftreten.

Der Bau von Grundwasserbrunnen begann in der Region des Flussdeltas Mitte der 1990er-Jahre. 1998 stellten Forschende der Eawag und der Hanoi University of Science im Rahmen eines Projektes der Eidgenössischen Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit erstmals hohe Arsenkonzentrationen im Grundwasser fest. Die ersten Patienten mit einer chronischen Arsenvergiftung traten hingegen erst 2004 auf, da sich die Symptome sehr langsam – über einen Zeitraum von zehn oder mehr Jahren – entwickeln.

Neben der Arsenbelastung stellten die Forschenden überdies fest, dass 44 Prozent der Brunnen gesundheitlich bedenkliche Mangan-Gehalte aufwiesen. Zu viel Mangan kann bei Kindern die Entwicklung des Gehirns beeinträchtigen.

## Langzeitfolgen einer Übernutzung

Anhand geologischer Daten und mithilfe eines mathematischen Modells erstellten die Wissenschaftler für die gesamte Region ausserdem ein dreidimensionales Risiko-profil. Mit diesem lässt sich die Arsen-Belastung des Grundwassers räumlich bis in eine Tiefe von 100 Metern abschätzen. «Das Modell erleichtert die Planung neuer arsenarmer Grundwasserbrunnen», sagt Berg.

Die Forschenden fanden überdies heraus, weshalb die Trinkwasservorräte von Hanoi relativ stark mit Arsen kontaminiert sind. Um die wachsende Bevölkerung mit Wasser versorgen zu können, pumpt die Stadt bereits seit über 100 Jahren Wasser auch aus tiefen, arsenfreien Grundwasserleitern, die unterhalb des arsenverseuchten Grundwassers liegen. Dadurch fliesst aus den darüber liegenden Schichten arsenhaltiges Wasser in die tieferen Grundwasserreservoirs nach. «Die Erkenntnisse über solche Langzeitfolgen können für andere Länder mit einem Arsenproblem nützlich sein, zum Beispiel für Bangladesch, das erst seit den 1970er-Jahren Grundwasser aus der Tiefe fördert», erklärt Berg.



Grundwasserbrunnen sind für viele Menschen Südostasiens die einzige Quelle für Trinkwasser.

Da ein Teil der Bevölkerung im Delta des Roten Flusses in absehbarer Zeit keinen Zugang zu arsenfreiem Trinkwasser haben wird, sind einfache Aufbereitungstechnologien notwendig, um das verseuchte Wasser zu reinigen. Viel versprechend sind zum Beispiel Sandfilter, wie Untersuchungen der Wissenschaftler in verschiedenen Regionen des Flussdeltas gezeigt haben. «Mit Sandfiltern lässt sich das Arsen sehr effizient und mit geringen Kosten aus dem Wasser entfernen», sagt der Wissenschaftler.

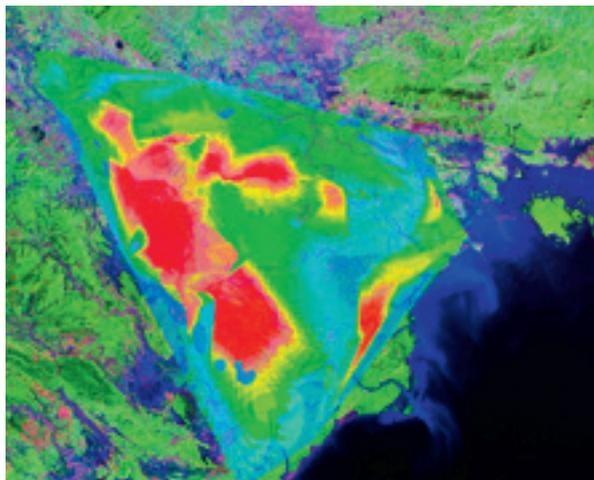
### Aufklärung alleine reicht nicht

Dementsprechend sind in Regionen mit hoher Arsenbelastung diverse Nichtregierungsorganisationen aktiv, um Massnahmen für eine saubere Trinkwasserversorgung – neben der Benutzung von Sandfiltern zum Beispiel einen Wechsel auf andere Brunnen, den Bau von Wasserleitungen oder das Sammeln von Regenwasser – zu initiieren.

Die Propagierung und Bereitstellung angemessener Technologien ist das eine, ob und inwieweit die lokale Bevölkerung davon tatsächlich Gebrauch macht, etwas anderes. So konnten Jennifer Inauen und Hans-Joachim Mosler von der Eawag-Forschungsabteilung Systemanalyse und Modellierung für ein betroffenes Gebiet in Bangladesch zeigen, dass rund 40 Prozent der Bewohnerinnen und Bewohner weiterhin mit Arsen verseuchtes Wasser nutzen, obwohl sie Zugang zu sauberen Alternativen haben.

«Es herrscht immer noch die Ansicht vor, dass ein fehlendes Risikobewusstsein der Grund für ein solches Verhalten sei und Aufklärung im Sinn einer Wissensvermittlung dieses ändern könne», sagt Jennifer Inauen. Doch aus der Sozialpsychologie wisse man inzwischen, dass das alleine meist nicht reiche. «Vielerorts sind soziale Normen und die Vorstellung, was andere von einem erwarten könnten, die entscheidenden Faktoren», erklärt sie.

Um herauszufinden, wo die Ursachen für die Nutzung beziehungsweise Nichtnutzung arsenfreien Wassers in



Gefahrenkarte für das Delta des Roten Flusses: Rot signalisiert eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen arsenverseuchten Grundwassers.

### Den Gebrauch von Wasserfiltern erhöhen

Ein ähnliches Problem wie beim Arsen stellt sich in bestimmten Gegenden Äthiopiens mit Fluorid: Zu viel Fluorid im Trinkwasser führt zu Wachstumsstörungen, Zahnschäden und Knochendehformationen. Obwohl eine Trinkwasseraufbereitung mit einem Filter aus Tierknochenkohle besteht, benutzen viele Betroffene weiterhin ungefiltertes Wasser.

Wie bei der Arsenproblematik entwickelten Alexandra Huber und Hans-Joachim Mosler von der Eawag deshalb ein psychologisches Verhaltensmodell, um herauszufinden, welche Faktoren für die Benutzung des Filters eine Rolle spielen und sich durch gezielte Interventionen positiv beeinflussen lassen (siehe nebenstehender Artikel).

Bei Haushaltsfiltern war demnach vor allem das vermeintlich zu geringe Volumen der entscheidende Faktor – obwohl pro Tag 40 bis 50 Liter gefiltert werden können. Die Intervention zielt daher darauf, mit den Anwendern eine Tagesplanung auszuarbeiten, wann die Filter zu füllen sind, um während des ganzen Tages ausreichend sauberes Wasser zu haben. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine entsprechende Anleitung das Verhalten im gewünschten Sinn verändern konnte.

Kontakt:

Prof. Hans-Joachim Mosler, hans-joachim.mosler@eawag.ch  
Alexandra Huber, alexandra.huber@eawag.ch

Bangladesch liegen und wo man für eine Verhaltensänderung ansetzen muss, führten Mosler und Inauen eine sozialpsychologische Untersuchung durch. Mithilfe strukturierter Befragungen von rund 750 Haushalten, die Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, ermittelten sie, welche Faktoren die Wasserwahl beeinflussen.

Die anschliessenden statistischen Auswertungen zeigten unter anderem, dass die aufwändigere und zeitintensivere Handhabung des arsenfreien Wassers die Leute von dessen Gebrauch abhält. Zudem fühlen sie sich im Umgang mit Störungen und Defekten zu wenig kompetent. Ebenfalls einen grossen Einfluss hat das Verhalten der anderen Dorfbewohner.

Aus diesen Erkenntnissen konnten die Forschenden mögliche Massnahmen ableiten, mit denen sich die verhaltensbestimmenden Faktoren günstig beeinflussen lassen. Eine viel versprechende Intervention wäre demnach zum Beispiel, über öffentliche Vorbildpersonen auf das Verhalten der anderen Dorfbewohner einzuwirken und die arsenfreien Trinkwasseroptionen besser sichtbar zu machen. Praktische Anleitungen zu deren sicheren Handhabung sollen die Anwenderkompetenz und damit die Akzeptanz erhöhen. Zudem gilt es laut den Wissenschaftlern, die Einstellung bezüglich des Mehraufwands zu verbessern.

In einem nächsten Schritt wollen die Forschenden nun vor Ort entsprechende Interventionen durchführen und untersuchen, wie diese das Verhalten der Bevölkerung verändern. ○ ○ ○

[www.eawag.ch/arsenic-vietnam](http://www.eawag.ch/arsenic-vietnam)  
[www.eawag.ch/forschung/wut](http://www.eawag.ch/forschung/wut)  
[www.eawag.ch/forschung/siam](http://www.eawag.ch/forschung/siam)

Kontakt:

Dr. Michael Berg, michael.berg@eawag.ch  
Dr. Lenny Winkel, lenny.winkel@eawag.ch  
Prof. Hans-Joachim Mosler, hans-joachim.mosler@eawag.ch  
Jennifer Inauen, jennifer.inauen@eawag.ch

# Stauseen stossen Treibhausgase aus

**Nicht nur grosse Stauseen in den Tropen, sondern auch Schweizer Fluss-Stauhaltungen produzieren beachtliche Mengen Methangas. Vor allem im Sommer steigen beispielsweise im Wohlensee an der Aare Gasblasen an die Oberfläche. Wie sind solche Emissionen einzuschätzen? Verliert die Wasserkraft den Vorteil der klimaneutralen Stromproduktion?**

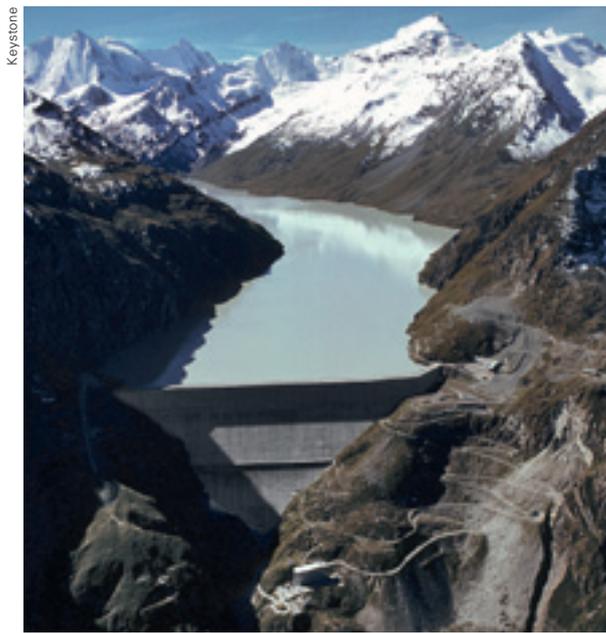
Methan kann aus den Sedimenten am Grund eines Stausees auf verschiedenen Wegen die Atmosphäre erreichen. Als gelöstes Gas diffundiert es langsam in die Wassersäule und gelangt an der Seeoberfläche in die Luft. Oder das Methan entweicht nach den Turbinen in die Luft, weil dort starke Turbulenzen entstehen. Je höher die Methankonzentration im Wasser ist, desto mehr entweicht auch in die Atmosphäre. Wie viel Methan in einem Stausee gebildet wird, kann man durch die Messung der gelösten Konzentration im Wasser abschätzen.

## Alpine Stauseen nicht klimarelevant

Wenn die Methanproduktion im Sediment sehr gross wird, bilden sich Blasen, die durch die Wassersäule «blubbern». Der See gleicht dann einem Glas Champagner oder Mineralwasser. Die Blasenströme transportieren in kurzer Zeit grosse Gasmengen in die Atmosphäre. Ihre Messung ist allerdings schwierig, weil sie lokal und zeitlich stark schwanken. Man kann die Blasen in Trichtern auffangen, braucht dann jedoch eine grosse Zahl von Messungen, um statistisch gesicherte Resultate zu erhalten. Weil sich Methanblasen beim Aufsteigen teilweise aber doch im Wasser auflösen, nimmt dessen Methankonzentration vom Grund gegen die Wasseroberfläche hin zu. Das Mass dieser Konzentrationszunahme haben Forschende von der Abteilung Oberflächengewässer der Eawag genutzt, um gemessene Daten genauer zu analysieren und abzustützen.



Mit trichterförmigen Gasfallen fangen Forschende das Methan auf, das vom Grund des Wohlensees an die Seeoberfläche aufsteigt.



Stauseen in den Alpen (im Bild Grande Dixence im Wallis) haben wenig Einfluss auf das Klima.

Torsten Diem verglich dazu die Treibhausgasemissionen von elf Stauhaltungen. In den Voralpen und im Mittelland waren dies der Sihlsee, Lungernsee, Greyerzer- und Wohlensee. Im alpinen Bereich analysierte er die Speicherseen Luzzone, Zeuzier, Santa Maria, Grimsel, Lago Bianco, der Oberaarsee und die Grande Dixence. Die Resultate zeigen, dass alle Seen Kohlendioxid und Methan ( $\text{CH}_4$ ) abgeben. Allerdings sind die Stoffflüsse sehr gering: Im Mittel – ohne den Wohlensee – liegen diese bei etwa 1 Gramm  $\text{CO}_2$  und 0,2 Milligramm  $\text{CH}_4$  pro Quadratmeter und Tag. Die Treibhausgasemissionen der alpinen Speicherseen sind deshalb nicht klimarelevant.

## Spezialfall Wohlensee

Im Gegensatz zu den übrigen untersuchten Stauseen beobachtete die Umweltchemikerin Tonya Del Sontro im Wohlensee an der Aare bei Bern einen intensiven Gastransport über aufsteigende Blasen – vor allem bei warmen Temperaturen im Sommer. Es ergaben sich Emissionswerte von bis zu 200 Milligramm pro Quadratmeter und Tag, also 1000-mal mehr als im Mittel bei den anderen Stauseen. Zusätzlich diffundiert in den Wintermonaten wenig Methan in gelöster Form aus dem Sediment.

Rechnet man diese Emissionen auf ein Jahr hoch, so produziert der Wohlensee rund 150 Tonnen Methan pro Jahr. Wegen der hohen Klimawirksamkeit des Methans

entspricht dies etwa 3700 Tonnen CO<sub>2</sub> oder 25 Millionen gefahrenen Autokilometern. Das ist ein Rekord für die Methanemission eines Wasserkraftwerks ausserhalb der Tropen. Verglichen mit Strom aus einem Kohlekraftwerk produziert das Aarekraftwerk Wohlensee (Jahresproduktion 160 Gigawattstunden) allerdings immer noch wenig Klimagas, umgerechnet auf Kohlendioxid nämlich etwa 20 Gramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde. Bei einem Kohlekraftwerk sind es etwa 1 Kilogramm CO<sub>2</sub> pro Kilowattstunde, also 50-mal mehr.

Für die Produktion von Methanblasen braucht es leicht abbaubaren Kohlenstoff, warme Temperaturen und eine relativ geringe Wassertiefe. In den alpinen Speicherbecken sind der Eintrag pflanzlichen Kohlenstoffes sehr gering und die Temperaturen tief. Darum fallen die Treibhausgasemissionen nicht ins Gewicht. Der Wohlensee liegt jedoch unterhalb des Thunersees, sodass Algen mit der Aare in die Stauhaltung transportiert werden. Dazu kommen wahrscheinlich Altlasten im Sediment aus der Zeit, als die Abwässer noch wenig gereinigt in die Aare gelangten.

Ohne Stausee würden diese Frachten in den Bielersee gelangen, wo sie meist in grösserer Tiefe abgelagert würden. Weil der Bielersee im Sommer stabil geschichtet ist, wäre dort die mögliche Methanemission via Gasblasen aber auf das Aaredelta beschränkt. Auch vor der Jura-Gewässerkorrektion, als die Aare noch direkt in den Rhein floss, waren die Methan-Emissionen wohl tiefer ausgefallen. Denn Ablagerungen im Meer produzieren wesentlich weniger Methan, weil das Sulfat im Meerwasser für die Oxidation organischen Kohlenstoffes im Sediment sorgt.

### Problematik vor allem in den Tropen

Bisher wurden vor allem tropische Stauseen als grosse Quellen von Treibhausgasen untersucht. Demnach trägt die überflutete Pflanzendecke häufig zur Entstehung der klimaschädigenden Gase bei. Es sind Fälle dokumentiert, in denen die geschätzten Emissionen um mehr als den Faktor zehn grösser sind als im Wohlensee. Das sind Methan- und Kohlendioxidwerte, die nicht mehr vernach-



Das Ablesen der Gaszylinder an den schwimmenden Trichtern vom Boot aus gleicht einer akrobatischen Übung.

lässigbar sind. Dies umso mehr, weil viele dieser Studien vermutlich die wahren Emissionen unterschätzen, da der Effekt von Gasblasen nicht zuverlässig berechnet wurde.

Neue Kraftwerke am Amazonas, am Mekong oder im tropischen Afrika können deshalb nicht als klimaneutral gelten. Sie produzieren Strom zum Teil mit ähnlich hohen Nebenwirkungen wie moderne Kohlekraftwerke.

Gegenwärtig entwickeln Wissenschaftler Methoden, um die Blasenströme mit einem Echolot genauer zu quantifizieren. Damit lässt sich deutlich schneller erfassen, wo und wann in einem See oder einem Reservoir Methan freigesetzt wird. «Wir hoffen, dass solche Verbesserungen die akrobatischen Übungen bei der Blasenbeobachtung mit schwimmenden Gastrichtern in Zukunft überflüssig machen», sagt Del Sontro.

«Stauseen unterhalb natürlicher Seen und flacher Flussmündungen sind mögliche Hotspots von Treibhausgasemissionen», fasst Bernhard Wehrli, Professor für Umweltchemie, zusammen. «Das ist in den globalen Methanbilanzen nicht zu vernachlässigen.» Stauseen könnten weltweit für etwa 18 Prozent der vom Mensch verursachten Methanemissionen verantwortlich sein, schätzt er und ergänzt: «Wie klimafreundlich ein Stausee ist, entscheidet dabei nicht nur der Standort, sondern auch der Gewässerschutz und die Abwasserreinigung im Einzugsgebiet.» Um die wissenschaftliche und vor allem auch politische Debatte zu den Treibhausgasemissionen aus Stauseen zu versachlichen, haben die Unesco und die International Hydropower Association eine Expertengruppe eingesetzt. ○ ○ ○

### Lachgas aus der Kläranlage

Nicht nur aus Stauseen, sondern auch aus Abwasserreinigungsanlagen gelangen klimawirksame Gase in die Atmosphäre. Im Visier von Umweltingenieuren der Eawag steht dabei vor allem das Lachgas (N<sub>2</sub>O). Es ist ein über 300-mal stärkeres Treibhausgas als CO<sub>2</sub> und bedeutend an der Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht beteiligt. Bisherige Schätzungen, wie viel N<sub>2</sub>O aus der biologischen Abwasserreinigung stammen, sind sehr vage. Messungen an der Versuchsanlage der Eawag deuten darauf hin, dass ungünstige Betriebsbedingungen – zum Beispiel zu wenig Sauerstoff oder hohe Ammoniumbelastungen – zu deutlich höheren N<sub>2</sub>O-Emissionen führen können, als bisher angenommen. Die Eawag entwickelt daher aktuell zusammen mit der Empa eine Methode, die anhand der unterschiedlichen Stickstoffisotope aufzeigen soll, in welchen Prozessen das Lachgas genau gebildet wird. Das ist die Grundlage für Reduktionsstrategien.

[www.eawag.ch/forschung/surf/gruppen/methane/index](http://www.eawag.ch/forschung/surf/gruppen/methane/index)

Kontakt:  
Prof. Bernhard Wehrli, [bernhard.wehrli@eawag.ch](mailto:bernhard.wehrli@eawag.ch)

# Gutes Wasser aus dem Bodensee

**Die Wasserqualität des Bodensees, einer der wichtigsten Trinkwasserquellen Mitteleuropas, ist sehr gut. Bei einzelnen Zuflüssen liegt die Belastung durch Mikroverunreinigungen hingegen in einem Bereich, der für gewisse Wasserlebewesen problematisch sein könnte.**

Der Bodensee ist eines der wichtigsten Trinkwasserreservoirs Mitteleuropas. Ungefähr 4,5 Millionen Menschen in der Schweiz und in Deutschland beziehen ihr Trinkwasser aus ihm. 17 Wasserwerke bereiten pro Jahr rund 180 Millionen Kubikmeter Tiefenwasser aus dem See zu Trinkwasser auf. Untersuchungen der Eawag zeigen, dass die Qualität des Tiefenwassers sehr gut ist.

## Geringe Belastung im See

Um die Schadstoffbelastung des Gewässers zu erfassen, erstellten Heinz Singer und seine Mitarbeiter von der Forschungsabteilung Umweltchemie im Auftrag der Internationalen Gewässerschutzkommission des Bodensees ein umfassendes Inventar der organischen Mikroverunreinigungen. Mit modernsten Analysemethoden untersuchten sie das Vorkommen von Pestiziden, Bioziden, Arzneimitteln, Lebensmittel- und Industriechemikalien und deren Abbauprodukte. «Insgesamt fanden wir 47 Substanzen», sagt Singer.

Alle Befunde lagen teilweise erheblich unter dem Zielwert für Pestizide von 100 Nanogramm pro Liter (ng/l), der für die Trinkwassernutzung gilt. Über 80 Prozent der Stoffe traten in Konzentrationen von wenigen Nanogramm pro Liter auf. «Das



Die Wasserproben werden in Glasbehälter abgefüllt.

sind derart geringe Mengen, dass sie sich mit der heutigen Technik kaum nachweisen lassen», so Singer. In vergleichsweise hohen Konzentrationen von 50 bis 100 ng/l kamen einzelne Medikamente und zwei hauptsächlich in Geschirreinigern eingesetzte Korrosionsschutzmittel vor.

## Hohe Werte in Flüssen

Um herauszufinden, aus welchen Zuflüssen die grösste Stoffbelastung kommt, benutzte Singer für das gesamte Einzugsgebiet des Bodensees ein an der Eawag entwickeltes Stoffflussmodell. Demzufolge wiesen besonders die im Kanton St.Gallen entspringende Steinach, die Schussen in Baden-Württemberg und die Dornbirner Ach im Vorarlberg erhöhte Konzentrationen der untersuchten Substanzen auf. «Dafür verantwortlich ist der relativ hohe Anteil an geklärtem Abwasser in diesen drei Flüssen», sagt der Umweltchemiker. Bei der Steinach etwa stamme bei Niedrigwasser bis zu 80 Prozent des Wassers von Kläranlagen.

Für gewisse Wasserlebewesen problematische Werte von teilweise mehr als 500 ng/l stellte der Forscher für das Schmerzmittel Diclofenac fest. Fast die Hälfte aller unter-

suchten Flussabschnitte wiesen bei Niedrigwasser so hohe Konzentrationen auf, dass bei Wasserorganismen langfristig Schädigungen auftreten können. «Mit speziellen Verfahren zur Abwasserreinigung, zum Beispiel mit pulverisierter Aktivkohle oder durch Ozonierung, liessen sich die meisten der Wirkstoffe aus dem Wasser entfernen», erläutert Singer.

Anhand seiner Modellrechnungen konnte er zudem abschätzen, wie sich die Konzentrationen der näher untersuchten Substanzen im Bodensee über die nächsten 20 Jahre entwickeln werden: Während sich die Ein- und Austräge einzelner Stoffe im Gleichgewicht befinden, wird sich beispielsweise die Menge von Diclofenac im See verdoppeln, wenn dieses weiterhin im heutigen Umfang verwendet und die Reinigungsleistung der Kläranlagen nicht verbessert wird. «Auch dann wird die Konzentration aber weniger als 10 ng/l betragen und immer noch deutlich unter dem Trinkwasser-Grenzwert liegen», sagt Singer. ○ ○ ○

## Mehr Salz im Bodensee

Seit den 1960er-Jahren hat der Chlorid-Gehalt des Bodensees um das Zweieinhalbfache zugenommen. Die Konzentration liegt gegenwärtig bei rund sechs Milligramm pro Liter. Laut Eawag-Forschern lässt sich die Zunahme auf den vermehrten Gebrauch von Strassensalz und von Salz in Haushalten und in der Landwirtschaft im Einzugsgebiet zurückführen. 2006 wurden insgesamt über 100 000 Tonnen Chlorid ausgebracht. Allerdings gelangen nur rund zwei Drittel davon in den Bodensee, der Rest verbleibt im Boden und im Grundwasser. Die Wissenschaftler rechnen auch in Zukunft mit einem Anstieg. Noch seien zwar keine Massnahmen nötig, da die Umwelt mit Salzgehalten dieser Grössenordnung umgehen könne, sagen die Forscher, doch sei der Bodensee ein Beispiel dafür, wie massiv der Mensch in die natürlichen Stoffkreisläufe eingreife. Kontakt: Dr. Beat Müller, beat.mueller@eawag.ch

[www.eawag.ch/forschung/uchem](http://www.eawag.ch/forschung/uchem)

Kontakt:  
Heinz Singer, heinz.singer@eawag.ch

# Risikobehaftete Abbauprodukte

**Nicht nur Pflanzenschutzmittel oder Medikamente können eine ökotoxikologische Gefahr für die Gewässer darstellen, sondern auch deren Abbauprodukte. Mit einem auf Computermodellen und Messungen basierendem Verfahren lässt sich das Risiko solcher Verbindungen einschätzen.**

Immer mehr Studien zeigen, dass nicht nur chemische Substanzen ein ökotoxikologisches Risiko darstellen können, sondern auch deren Abbauprodukte. Diese sind oftmals besser wasserlöslich, weshalb sie leicht in Gewässer oder ins Grundwasser gelangen. In der Schweizer Gewässerschutzverordnung haben sich diese Erkenntnisse bis jetzt aber noch nicht niedergeschlagen. «Es fehlte bislang vor allem eine allgemein anwendbare Methode, mit der man potenziell problematische Umwandlungsprodukte systematisch identifizieren und bewerten konnte», sagt Kathrin Fenner von der Forschungsabteilung Umweltchemie der Eawag.

## Abbau am Computer

Um diese Lücke zu schliessen, entwickelte die Umweltchemikerin zusammen mit ihren Mitarbeitenden im Rahmen des Projektes «Strategie Micropoll» des Bundesamts für Umwelt ein auf Modellen und Messungen beruhendes Priorisierungsverfahren. Damit ermittelten sie für 62 in der Schweiz gängige Pflanzenschutzmittel, Biozide und pharmazeutische Wirkstoffe die relevanten Abbauprodukte und bewerteten deren ökotoxikologisches Potenzial.

Da Umwandlungsprodukte nur für wenige Substanzen bekannt sind, führten die Forschenden selber Abbauxperimente mit Mikroorganismen durch oder simulierten die Bildung von Abbauprodukten am Computer. Um die dabei entstandenen oder postulierten Produkte in Gewässerproben nachzuweisen, wendeten sie die sogenannte hochauflösende Massenspektrometrie an. Mit dieser Methode kann man die Masse einer chemischen Verbindung so exakt bestimmen, dass für sie nur noch wenige Molekülformeln infrage kommen. Unter Zuhilfenahme weiterer Analysen lassen sich die Verbindung und ihre Struktur weitgehend zuverlässig eruieren.

In verschiedenen Schweizer Bächen, Flüssen, Zu- und Abläufen von Kläranlagen und im Grundwasser fahndeten die Wissenschaftler nach Abbauprodukten – und wurden fründig. «51 Verbindungen kamen in den Wasserproben in relevanten Konzentrationen vor», erläutert Fenner. Bei den Pflanzenschutzmitteln überschritten beispielsweise neun Umwandlungsprodukte den für die Trinkwassernutzung geltenden Qualitätsgrenzwert von 0,1 Mikrogramm pro Liter in mehreren Proben. Drei dieser Produkte fanden sich auch in verschiedenen Grundwässern in hohen Konzentrationen. In Kläranlagenabläufen konnten die Forschenden zudem sieben von Pharmazeutika stammende Verbindungen nachweisen, die den Grenzwert für Pestizide ebenfalls überschritten.

«Unsere Untersuchungen zeigten, dass viele Umwandlungsprodukte in vergleichbaren Konzentrationen vorkommen wie ihre Ausgangsstoffe», sagt Fenner. Häufig entstünden aus einer Substanz gleichzeitig sogar mehrere unterschiedliche Abbauprodukte. «Da die Verbindungen nicht sofort weiter abgebaut werden und daher länger im Wasser verbleiben, sind sie für ökotoxikologische Risikoabschätzungen nicht vernachlässigbar», konstatiert die Umweltchemikerin.

Die hohe Stabilität einzelner Abbauprodukte kann im Fall der Pflanzenschutzmittel laut Fenner sogar zu einer chronischen Belastung der Gewässer führen: Sie versickern im Boden, gelangen ins Grundwasser und von dort sukzessive wieder in die Oberflächengewässer, während die Ausgangssubstanzen selber meist kurzlebiger sind und nur über den Zeitraum ihrer Anwendung zu Belastungsspitzen führen.

Doch stellen die Abbauprodukte für die aquatische Umwelt überhaupt ein Problem dar? Um diese Frage beantworten zu können, entwickelten die Forschenden ein Verfahren, mit dem sich das ökotoxikologische Gefahrenpotenzial der Verbindungen abschätzen lässt.

Bei der Analyse der Umwandlungsprodukte zeigte sich, dass die meisten in einem ähnlichen Toxizitätsbereich liegen wie ihre jeweilige Ausgangsverbindung. Doch einige wenige Abbauprodukte, zum Beispiel jene des Schmerzmittels Metamizol, wurden als deutlich toxischer als ihr Ausgangsstoff eingeschätzt. «Für solche Verbindungen lohnt sich auf jeden Fall eine genaue ökotoxikologische Überprüfung», sagt Fenner. Längerfristig sei es überdies wichtig, solche prioritären Umwandlungsprodukte in Monitorprogramme einzubeziehen und für sie Grenzwerte zu definieren, so die Umweltchemikerin.

## Ins Monitoring einbeziehen

Bei der Analyse der Umwandlungsprodukte zeigte sich, dass die meisten in einem ähnlichen Toxizitätsbereich liegen wie ihre jeweilige Ausgangsverbindung. Doch einige wenige Abbauprodukte, zum Beispiel jene des Schmerzmittels Metamizol, wurden als deutlich toxischer als ihr Ausgangsstoff eingeschätzt. «Für solche Verbindungen lohnt sich auf jeden Fall eine genaue ökotoxikologische Überprüfung», sagt Fenner. Längerfristig sei es überdies wichtig, solche prioritären Umwandlungsprodukte in Monitorprogramme einzubeziehen und für sie Grenzwerte zu definieren, so die Umweltchemikerin.

○ ○ ○



Ein Mitarbeiter überwacht die automatische Probenahme an der Petite Glâne im Einzugsgebiet des Murtensees.

[www.eawag.ch/forschung/uchem](http://www.eawag.ch/forschung/uchem)

Kontakt: Dr. Kathrin Fenner, [kathrin.fenner@eawag.ch](mailto:kathrin.fenner@eawag.ch)

# Überleben im Chemikaliencocktail

**Wasserlebewesen sind in ihrem Element ständig einer Vielzahl von Chemikalien ausgesetzt. Um sich gegen schädliche Stoffe zu schützen, haben sie im Lauf der Evolution ein ausgeklügeltes Abwehrsystem entwickelt. Doch gewisse Substanzen machen diesen Schutzwall durchlässig – und die Organismen damit anfälliger für Umweltgifte.**

Pflanzliche Stoffwechselprodukte, Algentoxine, Bestandteile oder Abbauprodukte von Kunstdüngern, Pestiziden, Medikamenten, Kosmetika, Brandschutz- oder Putzmitteln: Unsere Gewässer sind unüberschaubare Chemikaliencocktails natürlich vorkommender und vom Menschen in die Umwelt gebrachter Substanzen. Auch wenn diese in der Regel nur in geringsten Konzentrationen vorkommen, sind die Wasserlebewesen ihnen dauernd ausgesetzt. Insbesondere über die Langzeitwirkungen solcher Stoffe auf aquatische Organismen weiss man meistens praktisch nichts.

Doch Lebewesen sind Umweltgiften nicht gänzlich wehrlos ausgeliefert, denn sie haben im Lauf der Evolution gewisse Abwehrmechanismen entwickelt. Wie sich Organismen vor unerwünschten Substanzen schützen, ist vor allem aus Untersuchungen an Säugetieren bekannt. Ihre Zellen besitzen verschiedene Entgiftungs- und Reparatursysteme, die toxische Fremdstoffe bis zu einem gewissen Grad abfangen, unschädlich machen oder entstandene Schäden reparieren können. Nun konnte Stephan Fischer von der Abteilung Umwelttoxikologie der

Eawag auch bei Fischen ein solches Abwehrdispositiv nachweisen: sogenannte Multi-Xenobiotika-Resistenz-Transportproteine oder kurz MXR-Transporter.

## Fremdstoffe aus den Zellen spedieren

Diese Proteine sitzen in der Zellmembran und dienen als Transportkanäle. Sobald von ihnen erkannte Fremdstoffe in die Zelle gelangen, werden sie erfasst und unter Energieaufwand wieder herauspediert. Aufmerksam auf derartige Transporter-Eiweisse wurde man erstmals bei menschlichen Tumorzellen, weil sie dort Antikrebsmittel abfangen und «unschädlich» machten. Fachleute vermuten zudem, dass Krankheiten wie Cystische Fibrose oder Arteriosklerose auf defekte MXR-Eiweisse zurückzuführen sind. «Die Proteine bilden beim Menschen normalerweise eine wirksame Schranke zwischen dem Blut und den Geweben und kommen gehäuft im Darm, in den Nieren, der Leber, aber auch im Gehirn, in den Hoden oder der Plazenta vor», erklärt Fischer.

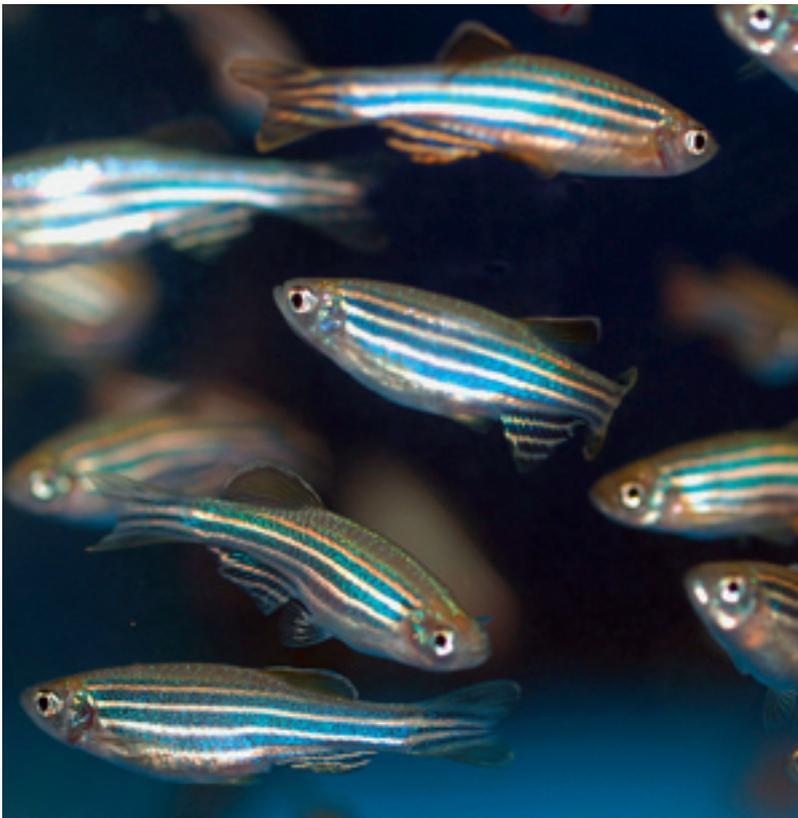
Bei Zelllinien von Regenbogenforellen und bei Embryonen des Zebraärbblings konnte Fischer mehrere MXR-Proteine nachweisen. «Sie kommen unter anderem in den Kiemen vor und bilden dort eine Art Umwelt-Gewebe-Barriere», sagt er. Um zu zeigen, dass sie auch bei den Fischen als zelluläre Türsteher walten, setzte er die Zellen und Embryonen fluoreszierenden Farbstoffen aus, die von den MXR-Proteinen erkannt und abgefangen werden.

Unter normalen Bedingungen funktionierten die Transportkanäle tatsächlich einwandfrei, was sich darin zeigte, dass sich keine Farbstoffe innerhalb der Zellen anreicherten und diese unter speziellem Licht dunkel erschienen, während ihre Umgebung hell leuchtete. Ein anderes Bild ergab sich, als der Forscher die MXR-Transporter chemisch blockierte oder Fischembryonen untersuchte, bei denen einzelne für die Synthese der MXR-Proteine notwendige Gene ausgeschaltet waren. Nun fluoreszierte das Zellinnere: Die Farbstoffe hatten die Zellabwehr überwunden.

## Sensibilisierung für Gifte

Die Laborexperimente führen auch vor Augen, wie bestimmte Chemikalien durch die Blockade der Transportkanäle den zellulären Schutzwall für Fremdstoffe durchlässig machen können. Die Wissenschaft bezeichnet solche MXR-Proteine blockierende Substanzen als Chemosensitizer. «Diese können die zelluläre Abwehr aushebeln und einen Organismus anfälliger für Gifte machen, ohne selber toxisch zu sein», erklärt Fischer.

Was das konkret bedeutet, hat der Umwelttoxikologe in einem weiteren Experiment untersucht. Er setzte Fisch-



Kostas Margitidis, MPI-CBG

*Ihr zellulärer Entgiftungsmechanismus ist für Zebraärblinge überlebenswichtig.*

embryonen während 48 Stunden dem Zellgift Vinblastin aus. Das aus dem Madagaskar-Immergrün gewonnene Alkaloid hemmt die Zellteilung und wird in der Krebstherapie als Chemotherapeutikum eingesetzt. Unter normalen Bedingungen und bei moderaten Vinblastin-Dosen funktionierte die zelluläre Abwehr der Zebrabärblinge gut: Bei einer Konzentration von 1,6 Milligramm Vinblastin pro Liter Wasser starben durchschnittlich rund 20 Prozent der Individuen.

Gab der Wissenschaftler aber noch das aus einem Schlauchpilz gewonnene und in der Transplantationsmedizin eingesetzte Cyclosporin hinzu, sah die Sache anders aus. «Cyclosporin wirkt als Chemosensitizer», so Fischer, «weshalb die Tiere deutlich sensibler auf schädliche Substanzen reagieren». Dementsprechend führte dieselbe Vinblastin-Konzentration wie im ersten Versuch zusammen mit dem Cyclosporin nun bei bis zu 80 Prozent der Embryonen zum Tod. Bei funktionstüchtigen Kanalproteinen brauchte es für solch hohe Sterberaten mindestens die doppelte Dosis Vinblastin.

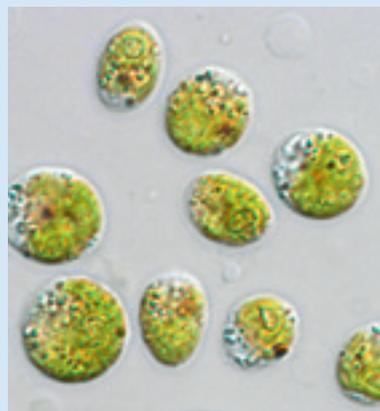
### Wenig Wissen über Chemosensitizer

Erst vor wenigen Jahren begann die Wissenschaft, Chemosensitizer genauer zu untersuchen. Daher sind bis heute erst wenige umweltrelevante Substanzen bekannt, die über die Blockierung der MXR-Proteine eine Sensibilisierung für andere Chemikalien auslösen. Zu den als Chemosensitizer wirkenden Stoffen gehören zum Beispiel künstliche Moschusverbindungen, wie sie in vielen Pflege- und Reinigungsprodukten als Parfum zum Einsatz kommen, oder polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, die in Pestiziden, Farbstoffen und fossilen Energieträgern sowie als Stabilisatoren oder Weichmacher verwendet werden.

Die bisher bekannten Stoffe gehören zu chemisch sehr unterschiedlichen Gruppen, was laut Experten darauf hindeutet, dass solche für aquatische Lebewesen an und für sich nicht toxischen Stoffe in den Gewässern recht weit verbreitet sind. Fischer betont, dass es wichtig sei, nicht nur die Wirkung isolierter Einzelstoffe, sondern auch jene von Chemikaliengemischen zu untersuchen, wie sie in der

### Limitierte Entgiftung bei Algen

Um sich vor giftigen Metallen wie zum Beispiel Blei zu schützen, bilden Algen sogenannte Phytochelatine. Diese eiweissartigen Moleküle binden die toxischen Metalle und machen sie auf diese Weise unschädlich. Wie Untersuchungen von Christian



Einzellige Süßwasser-algen.

Scheidegger von der Eawag an einzelligen Süßwasser-algen der Art *Chlamydomonas reinhardtii* zeigen, reagieren diese sehr rasch auf erhöhte Bleikonzentrationen im Wasser und bilden die schützenden Phytochelatine innert weniger Minuten. Ausserdem produzieren sie umso mehr Entgiftungsmoleküle, je höher der Bleigehalt ist.

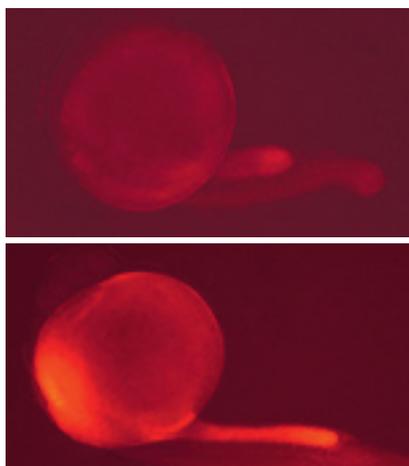
Mit kurzzeitigen Belastungen von wenigen Stunden konnten die Algen in Scheideggers Experimenten dank dem zellulären Schutzmechanismus gut umgehen. Bei längerfristigen Blei-Expositionen von mehreren Tagen reichte dies jedoch nicht mehr aus und die Vitalität der *Chlamydomonas*-Algen nahm ab.

«Mit der Zeit sind nicht mehr genügend Phytochelatine in den Zellen vorhanden, um das sich akkumulierende Blei zu binden», erläutert der Forscher die schleichende Vergiftung. Die Algen reagierten auf den chronischen Stress, indem sie die Fotosynthese und das Wachstum reduzierten oder ganz einstellten. Diese Effekte traten bereits bei Bleikonzentrationen auf, wie sie für stärker belastete Gewässer realistisch sind. Die Studie zeigt auch, dass Langzeitbelastungen für aussagekräftige ökotoxikologische Abschätzungen zwingend berücksichtigt werden müssen.

Kontakt: Prof. Laura Sigg, [laura.sigg@eawag.ch](mailto:laura.sigg@eawag.ch)

Umwelt realistischerweise meist vorkämen. Denn dass ein Giftstoff in Gegenwart von anderen Substanzen unter Umständen viel grösseren Schaden anrichten könne, zeige das Beispiel der Chemosensitizer.

Der Forscher will nun in einem nächsten Schritt mit Hilfe von Zelllinien der Regenbogenforelle und Embryonen des Zebrabärblings verschiedene in der Umwelt vorkommende Chemikalien auf ihre Wirkung als Chemosensitizer untersuchen. Seiner Meinung nach liesse sich dieser Ansatz sogar zu einem standardisierten Verfahren weiterentwickeln, mit dem man in Zukunft ökotoxikologische Risikoabschätzungen von Chemikalien durchführen könnte. ○ ○ ○



Bei intakter Abwehr kann kein Farbstoff in den Fischembryo dringen (oben), bei blockierten MXR-Transportproteinen dagegen schon (unten).

[www.eawag.ch/forschung/utox](http://www.eawag.ch/forschung/utox)

Kontakt: Stephan Fischer, [stephan.fischer@eawag.ch](mailto:stephan.fischer@eawag.ch)

# Anpassungsfähige Frösche

**Die Evolution geht bisweilen relativ rasch vonstatten. Aufgrund natürlicher Selektion konnten sich Moorfrösche in Schweden innerhalb weniger Jahrzehnte an versauerte Gewässer anpassen und änderten ihre Abwehrstrategie gegen Fressfeinde.**

Saurer Regen und das Waldsterben waren in den 1970er-Jahren vor allem in Europa die grossen Umweltthemen. In Skandinavien und Nordostamerika ist diese Form der Umweltverschmutzung auch heute noch ein Problem. Die Versauerung bedeutet allerdings nicht nur Stress für den Wald, Böden und Gewässer sind genauso betroffen – und mit ihnen eine Vielzahl von Organismen. In Schweden sind die Gewässer zum Teil stark davon beeinträchtigt und aus ehemals artenreichen Weihern sind vielfach Tümpel mit wenig Leben geworden.

## Evolution zum Miterleben

In Südwestschweden haben jedoch Moorfrösche das Kunststück vollbracht, mit den widrigen Umständen umzugehen. Sie leben in Teichen, die durch den sauren Regen einen pH-Wert von bis zu vier haben und so sauer sind wie ein Glas Wein. Sandra Hangartner und Katja Räsänen von der Forschungsabteilung Aquatische Ökologie der Eawag konnten zeigen, dass sich die schwedischen Moorfrosch-Populationen sowohl an den tiefen pH-Wert des Wassers angepasst haben als auch an das veränderte Ökosystem. Mit ihrer Arbeit

wiesen die Forscherinnen nach, dass umweltbedingte Stressfaktoren, in diesem Fall die Versauerung, bei Organismen innert weniger Jahrzehnte evolutive Veränderungen bewirken können.

Frösche sind vor allem während der Fortpflanzungsphase und im Larvenstadium ans Wasser gebunden. Saure Bedingungen beeinträchtigen deshalb bereits die Eier im Laich. «Die Gallerthülle der Eier verändert sich, die Embryonen sind meist weniger aktiv und aus weniger Eiern schlüpfen Kaulquappen», erklärt Hangartner. Die Forscherinnen konnten in Experimenten aber zeigen, dass Embryonen, die aus Teichen mit tiefem pH stammen, mit sauren Bedingungen wesentlich besser zurechtkommen und eine höhere Überlebensrate haben als ihre Artgenossen aus neutralen Ursprungsgewässern.

Nach dem Schlüpfen sind Fressfeinde eine der grössten Gefahren auf dem Weg zum ausgewachsenen Frosch. Während die Kaulquappen in neutralen Tümpeln von anderen Amphibien, Fischen und Insekten gejagt werden, reduziert sich die Vielfalt der Raubfeinde in versauerten Teichen vor allem auf Insekten. Diese Veränderung des Ökosystems beeinflusst auch die Abwehrstrategie der Froschlaven. Kaulquappen aus sauren und insektenreichen Gewässern bildeten leistungsfähigere Schwanzflossen aus, konnten dadurch besser fliehen und überlebten die direkte Konfrontation mit Libellenlarven in Versuchen häufiger als diejenigen aus neutralen, räuberarmen Tümpeln.

Zudem legten die Kaulquappen aus sauren Gewässern schneller an Gewicht zu. «Auch die hohe Wachstumsrate ist eine Anpassung an die speziellen Lebensbedingungen beziehungsweise ein Schutz vor räuberischen Insekten», sagt Hangartner, «denn grosse Kaulquappen können

von vielen Insekten nicht mehr gefressen werden.»

## Genetische Vielfalt nötig

Damit solche evolutiven Anpassungsmechanismen spielen können, braucht es grosse Populationen mit einer hohen genetischen Vielfalt. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Individuen eine genetische Ausstattung besitzen, die sie mit den veränderten Umweltbedingungen besser umgehen lässt als ihre Artgenossen. Solche Individuen sind vitaler und haben mehr und ebenfalls besser angepasste Nachkommen, sodass sich aufgrund dieser natürlichen Selektion mit der Zeit die «besseren» Gene durchsetzen.

Oft spielen bei solchen Anpassungsleistungen zudem sogenannte maternale Effekte eine wichtige Rolle. Dabei vererben Mütter spezifisch gewisse genetische oder durch Umweltveränderungen ausgelöste Anpassungen an ihre Nachkommen, die vor allem deren frühe Entwicklung beeinflussen.

Die Fähigkeit der schwedischen Moorfrösche, sich an gewisse Umweltveränderungen anpassen zu können, macht Hoffnung, dass Amphibienarten gegenüber (oftmals vom Menschen verursachten) Stressfaktoren nicht gänzlich schutzlos ausgeliefert sind, sondern in einem gewissen Mass damit umgehen können. Eine notwendige Voraussetzung dafür sind allerdings genügend grosse und genetisch vielfältige Populationen – und dies ist oft nicht gewährleistet. ○ ○ ○



*Dass bei Moorfröschen vitaler Nachwuchs zur Welt kommt, hat nicht nur mit den guten Genen der begattenden Männchen zu tun, sondern auch mit maternalen Effekten.*

[www.eawag.ch/forschung/eco](http://www.eawag.ch/forschung/eco)

Kontakt:

Dr. Sandra Hangartner,  
sandra.hangartner@eawag.ch  
Dr. Katja Räsänen,  
katja.raesaenen@eawag.ch

# Schweres Erbe aus dem Gletscher

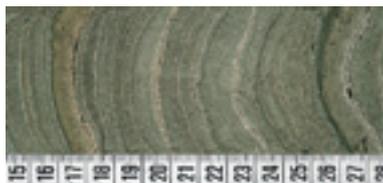
**Als Folge des Klimawandels ziehen sich weltweit die Gletscher zurück. Mit dem Schmelzwasser können sie Umweltgifte freigegeben, die über Jahrzehnte im Eis eingeschlossen waren. Dadurch werden sie zu bedeutenden Sekundärquellen längst verbotener Schadstoffe.**

Stoffe wie Dioxine, DDT oder PCB stehen für vergangene Umweltsünden, Chemieunfälle, Lebensmittel-skandale, Missbildungen und Krebs. Seit einigen Jahren ist ihre Verwendung weltweit nur noch sehr eingeschränkt erlaubt. Doch aus der Welt schaffen lassen sie sich praktisch nicht mehr, auch in der Schweiz nicht, wo sie seit 1986 vollständig verboten sind. Denn sie gehören zu den sogenannten persistenten organischen Schadstoffen, die nur äusserst langsam abgebaut werden und über Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Umwelt verbleiben.

## Schadstoffe in Sedimenten

Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften verbreiten sie sich via Atmosphäre über grosse Distanzen und lassen sich von den Tropen bis zu den Polen überall nachweisen. Wissenschaftler der Eawag haben zusammen mit Kollegen der Empa und der ETH Zürich entdeckt, dass sich in den Sedimenten verschiedener Schweizer Gebirgsseen in den letzten Jahren wieder zunehmende Mengen solcher Substanzen finden lassen – und herausgefunden, warum.

Mithilfe von Sedimentbohrkernen untersuchten die Forscher, wie sich die Schadstoffbelastung im Oberaar-, Stein- und Engstlensee im Berner Oberland über die letzten rund 100 Jahre veränderte. Um die Proben zu entnehmen, trieben sie lange Kunststoffrohre in den Seegrund. Die mit Sediment gefüllten Rohre schnitten sie später im Labor längs auf. Wie die Jahrringe eines Baumes



Umweltarchiv: Der aufgeschnittene Bohrkern zeigt die Sedimentschichten.

präsentierten sich die im Lauf der Zeit abgelagerten Schichten. «Die verschiedenen Sedimenttypen zeugen von vergangenen Umweltveränderungen», erklärt Flavio Anselmetti von der Abteilung Oberflächengewässer der Eawag. Der Geologe war verantwortlich für die Probenahmen sowie die Interpretation und Altersdatierung der Sedimente, während die Empa die chemischen Analysen durchführte.

Anhand der Schichten konnten die Wissenschaftler zeigen, dass die Verwendung persistenter organischer Schadstoffe in den 1960er- und 70er-Jahren einen Höhepunkt erreicht hatte. Mit dem Verbot der Substanzen ging deren Gehalt danach sehr stark zurück. Überraschenderweise offenbarten die Sedimentbohrkerne des Oberaar- und des Steinsees jedoch, dass die Chemikalien ab den 1990er-Jahren plötzlich wieder viel häufiger auftraten und gewisse Verbindungen die Höchstwerte von früher zum Teil sogar übertrafen. Was war geschehen?

## Gletscher als Quellen

Die Antwort lag in diesem Fall wortwörtlich nah, nämlich gleich oberhalb der Seen. Beide werden vor allem vom Schmelzwasser jeweils eines Gletschers gespeist: der eine vom Oberaar-, der andere vom Steingletscher. In den Gletschern ist gespeichert, was einst mit dem Schnee auf sie gelangt war und im Eis eingeschlossen wurde, so auch Umweltgifte wie Dioxine, DDT oder PCB. Und seit die Eismassen aufgrund der Klimaerwärmung rascher abschmelzen, gelangen die Schadstoffe wieder vermehrt in die Seen, vermuteten Anselmetti und seine Kollegen. Sie konnten zum Beispiel nachweisen, dass die jährliche Längenabnahme des Steingletschers mit dem Anstieg der Schadstoffe im See korreliert.



Damit die Geräte zur Entnahme der Bohrkern stabil stehen, findet die Sedimentbohrung auf dem gefrorenen Steinsee statt.

Bestätigt fanden die Forscher ihren Verdacht in den Proben des Engstlensees. Diese zeigten nach den 70er-Jahren den charakteristischen Rückgang der Schadstoffe in den Sedimenten zwar ebenfalls – allerdings keinen erneuten Anstieg. Der Grund: Der Engstlensee wird als einziger dieser drei nicht von Gletscherwasser gespeist, sondern von Wasser aus Quellen und Niederschlägen.

Was gewisse Fachleute schon lange vermuteten, konnten die Wissenschaftler damit erstmals nachweisen: Gletscher sind in Zeiten des Klimawandels ernst zu nehmende sekundäre Quellen für einen erneuten Eintrag von bedenklichen Chemikalien in die Umwelt. Zum Beispiel schrumpfte der Oberaargletscher in den vergangenen zehn Jahren alleine um mehr als 120 Meter und gab mit dem Schmelzwasser deutlich nachweisbare Mengen toxischer Substanzen frei. ○○○

[www.eawag.ch/forschung/surf](http://www.eawag.ch/forschung/surf)

Kontakt:

Prof. Flavio Anselmetti, [flavio.anselmetti@eawag.ch](mailto:flavio.anselmetti@eawag.ch)

Dr. Peter Schmid, [peter.schmid@empa.ch](mailto:peter.schmid@empa.ch)

Dr. Christian Bogdal, [christian.bogdal@chem.ethz.ch](mailto:christian.bogdal@chem.ethz.ch)

# Umweltgeschichte aus einem türkischen See

**Der Vansee im Osten der Türkei ist ein besonderes Gewässer. Sieben Mal grösser als der Bodensee, aber ohne Abfluss und selbst während der Eiszeiten eisfrei, haben seine Sedimente nicht nur jahreszeitliche Zyklen aufgezeichnet, sondern auch Vulkanausbrüche, Erdbeben, längere Warm- und Kaltzeiten und weitere Umweltdaten. Nun wurden die Ablagerungen erstmals bis zum Felsgrund erbohrt. Bis zu 450 000 Jahren Klima- und Umweltgeschichte hoffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler damit erklären zu können.**



- 1) Sommer 2010: Die schwimmende Bohrplattform auf dem Vansee, dessen klares Wasser mit einem pH-Wert von 9,6 extrem basisch ist. Im Hintergrund der 4058 Meter hohe Vulkan Süphan.
- 2) Zwei Geologinnen trennen noch auf dem See die erbohrten Kerne in 1,5 Meter lange Abschnitte und beschriften sie.
- 3) Sofern Wind und Wellengang es zulassen, wird gebohrt – auch in der Nacht; vorne das Lager der Bohrgestänge, hinten der Bohrtisch über dem Bohrloch, das am 375 Meter tiefer liegenden Seegrund beginnt.
- 4) Im improvisierten Labor im Hotel Seldschuken in Ahlat werden die frisch gebohrten Kerne mit mehreren Sensoren gescannt. Dichte, Leitfähigkeit, magnetische und elastische Eigenschaften geben den Forschenden erste Hinweise auf die Herkunft des Materials und die Bedingungen bei der Ablagerung.
- 5) Fortlaufend wird loses Sediment untersucht, das an den Übergängen zum nächsten Kern anfällt. Die ganzen Kerne bleiben noch unange-tastet.
- 6) Mit bis zu 170 bar Druck wird das Porenwasser aus den Proben gepresst und unter anderem auf Salzgehalt und pH-Wert untersucht.
- 7) Kleinste Probemengen werden unter dem Mikroskop begutachtet; so sind zum Beispiel vulkanische Mineralien, Kieselalgen oder Pollen-körner zu erkennen.
- 8) Februar 2011: An der Universität Bremen werden die Kerne mit einer speziellen Kreissäge sorgfältig zweigeteilt. Die detaillierten Unter-suchungen der Schichten beginnen.
- 9) Kunstvolle Muster in je 20 Zentimeter Kernmaterial (entspricht bis zu 400 Jahren): Schwarze Lagen sind Vulkanaschen, durchsetzt mit Bims-steinen. Im dritten und vierten Abschnitt sind kleine Verwerfungen, im fünften eine Faltung zu erkennen, ausgelöst durch Erdbeben und vulkanische Aktivität. Die feinen braun-beigen Schichten sind typische, von den Jahreszyklen geprägte Seesedimente.





4



5



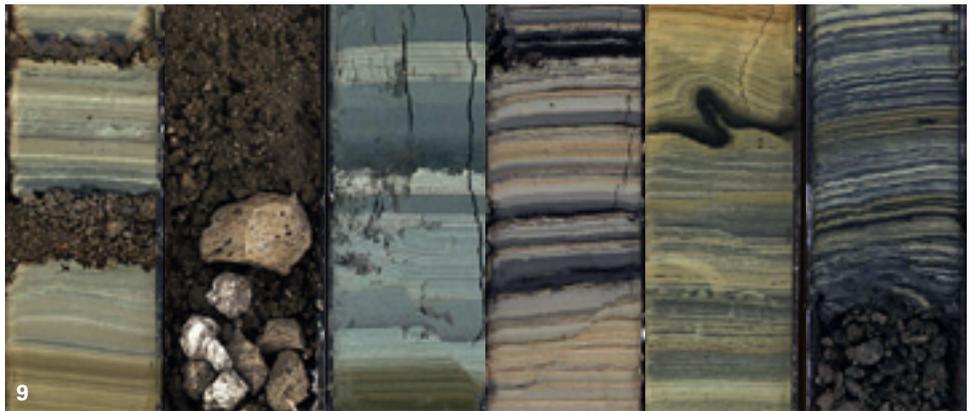
6



7



8



9



**Interdisziplinäres Abenteuer**

Zwölf Bohrkern, das entspricht einer Tagesleistung von 18 Metern erbohrtem Sediment, verladen die fünf Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler heute von der Bohrplattform auf das Versorgungsschiff Alikaptan. Paläobotaniker Thomas Litt von der Universität Bonn und Geologe Flavio Anselmetti von der Eawag tauschen kurz die wichtigsten Informationen aus, dann schippert der Kahn die drei Forschenden und drei «Drillers» der Tagschicht – nach 12 Stunden Einsatz – zurück in den kleinen Hafen von Ahlat.

Drei Monate lang hat das interdisziplinäre Team mit Forschenden aus der Schweiz, Deutschland und der Türkei mit einer amerikanischen Bohrcrew in Ostanatolien aus dem 400 Meter tiefen Vansee Sedimentkerne erbohrt, insgesamt über 800 Meter. Wellengang, der spezielle Chemismus des abflusslosen Sees, unerwartete bürokratische Hürden und eine für die meisten fremde Kultur im Kurdengebiet Ostanatoliens haben das Grossprojekt für alle Beteiligten zur Herausforderung werden lassen. Unterstützt vom Nationalfonds und der Deutschen Forschungsgemein-

schaft, ist das massgeblich von der Eawag initiierte Vorhaben Teil des «International Continental Scientific Drilling Program» (ICDP). Dabei ist das erfolgreiche Bohren der Kerne nur die erste Phase des Programms. Im Februar 2011 wurden die Kerne an der Universität Bremen aufgeschnitten und zur Zeit laufen die detaillierten Untersuchungen.

Die gut zählbaren Jahreslagen, die Möglichkeit, in den dazwischen eingelagerten vulkanischen Gläsern mit Hilfe von Argon-Isotopen das absolute Alter zu bestimmen, und viele weitere Indizien machen das Vansee-Sediment zu einem einmaligen Archiv. Nicht nur für die Rekonstruktion der Geschichte des Sees und der umliegenden Vulkane, sondern für die Klima- und Umweltgeschichte ganz Zentraleuropas. Ein solcher Rückblick über mehrere Eis- und Zwischeneiszeiten hinweg ist etwa in den Schweizer Seen nicht möglich. Sie wurden alle während der Eiszeiten verändert oder sind sogar erst nach dem Rückzug des Eises entstanden.

► [www.eawag.ch/vansee](http://www.eawag.ch/vansee), ► [www.icdp-online.org](http://www.icdp-online.org)

# Forschen Lehren Beraten

Norbert Staub, ETH Zürich



Mit der Ausbildung von Studierenden übernimmt die Eawag einen wichtigen Auftrag in der Schweiz. Sie trägt dazu bei, dass Fachkräfte im In- und Ausland die neuen Fragen bezüglich Wassernutzung und Gewässerschutz ganzheitlich kennen und den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser umsetzen können. 2010 hat die Eawag ihre Lehranstrengungen wiederum auf konstant hohem Niveau gehalten. Mehr als ein Fünftel des wissenschaftlichen Personals der Eawag lehrte 2010 an Universitäten, der ETH Lausanne und ETH Zürich sowie an Fachhochschulen. Die Zahl der betreuten Studierenden auf Bachelor-, Master- und Diplomstufe hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Noch deutlicher angestiegen ist die Zahl der betreuten Doktorarbeiten, nämlich von 111 im Jahr 2009 auf 153 im Jahr 2010.

An der Eawag lernen die Studierenden, sich im Umfeld lösungsorientierter Forschung einzubringen und sich auch international zu messen. Sie erhalten die Gelegenheit, bei internationalen Forschungsprojekten wie zum Beispiel dem Vansee-Projekt in der Türkei, mitzuarbeiten und in Forschungsprojekten mit externen Partnern zur Lösung aktueller Probleme in der Praxis beizutragen. Die zahlreichen Auszeichnungen der Arbeiten von Studierenden und jungen Forscherinnen und Forschern der Eawag sind dafür ein Beleg.

## Jukka Jokela

### Werbung für die Ökologie

«Es hat dort mehr Wasser als Land», sagt Jukka Jokela über seine Heimat, die Finnische Seenplatte. Dies ist mit ein Grund, warum der Biologe die aquatischen Ökosysteme zu seinem Hauptforschungsgebiet machte.



Neben der Forschung doziert er zudem regelmässig an der ETH Zürich. «Im Grunde mache ich bei den Studierenden Werbung für die Ökologie.» Er wolle sie zum Denken anregen, ihnen die Richtung weisen. «Ich erkläre ihnen die grossen Konzepte – die Details müssen sie sich selbst erarbeiten.» Die Vorlesungen geben ihm auch die Möglichkeit, sein eigenes Wissen aufzufrischen oder neues zu erwerben. Wo es möglich ist, lässt er zudem Beispiele aus seiner

aktuellen Forschung einfließen, zum Beispiel die Wirt-Parasit-Interaktionen zwischen Wasserschnecken und Saugwürmern. «Ich will wissen, wie sich die genetische Vielfalt der Wirtsorganismen im Lauf der Evolution verändert.» In der evolutionären Ökologie sei die Schweiz weltweit führend, was Jokela schliesslich vor fünf Jahren an die Eawag führte. Zudem würden hier viele Wissenschaftler aus der ganzen Welt zusammenarbeiten. «Die Studierenden profitieren von dieser Mischung verschiedener Kulturen und Erfahrungen», ist der Forscher überzeugt.

## Armin Peter

### Die Leidenschaft weitergeben

«Wenn die Studierenden erst einmal bis über die Knie im strömenden Wasser stehen und einen Fisch fangen können, dann haben sie begriffen, um was es geht», sagt Armin Peter, Biologe und Dozent für Fischökologie und Flussrevitalisierungen. Ob ETH-Studierende oder Fachleute in den Praxisorientierten Eawag-Kursen – Peter will



nicht nur sein Wissen, sondern auch die Leidenschaft für sein Fachgebiet weitergeben. «Naturnahe Fließgewässer sind äusserst dynamisch, sowohl ökologisch als auch physikalisch», sagt er. Die Fische

hätten sogar etwas Geheimnisvolles: blitzschnell und von blossen Auge schwer zu erkennen. «Erst dank unserer Forschungsmethoden können wir sie für einen Augenblick sichtbar machen.» In seiner Forschung interessiert

Peter, wie sich Umweltveränderungen auf den Lebensraum der Fische auswirken und wie sich ein verbauter Fluss wieder naturnah gestalten lässt. «In den letzten Jahren hat die Schweiz zwar viele Gewässer revitalisiert – aufgrund der dichten Besiedelung besteht jedoch noch immer grosser Handlungsbedarf.» Peter fördert diesen Prozess, indem er Bund und Kantone beratend unterstützt. Seinen Studierenden zeigt er nicht nur die Schönheit der Gewässer, sondern auch deren Probleme. «Vielleicht sind sie später einmal in der Position, über die Gestaltung von Fließgewässern entscheiden zu können. Darum ist es wichtig, sie schon frühzeitig dafür zu sensibilisieren.»

## Max Reutlinger

### Jugendliche begleiten und fördern

Sie kommen als Kinder und gehen als junge Erwachsene: 26 Lernende beschäftigt die Eawag aktuell in Dübendorf und Kastanienbaum. Über die Hälfte von ihnen sind Chemielaboranten, die übrigen Biogelaboranten, kauf-



männische Angestellte oder Informatiker. Für die Berufsbildung verantwortlich zeichnet seit fast 40 Jahren Max Reutlinger. 1972, direkt nach seinem Chemiestudium, kam er an die Eawag, wo damals erst zwei Lernende zu

Chemielaboranten ausgebildet wurden. «Ursprünglich wollte ich drei Jahre bleiben, um ein neues Ausbildungsprogramm auf die Beine zu stellen», sagt Reutlinger. Doch die Arbeit gefiel ihm so gut, dass er bis heute geblieben ist. In den letzten Jahrzehnten hat er die Berufsbildung laufend weiterentwickelt – die ersten seiner vielen Schützlinge sind mittlerweile bereits über fünfzig. «Jedes Jahr kommen wieder neue Menschen und mit ihnen neue Herausforderungen – das ist es, was mich motiviert», sagte er. Die Jugendlichen in diesem richtungsweisenden Lebensabschnitt zu begleiten, ihnen Türen zu öffnen und eine aussichtsreiche Zukunft zu ermöglichen – für Reutlinger war es Beruf, aber auch persönliches Anliegen. Im Sommer 2011 geht er in Pension. «Dann werde ich mehr Zeit für meine zweite Leidenschaft haben.» Er will Orchideen kartieren und züchten und sich im Naturschutzgebiet Eigental aktiv für den Naturschutz einsetzen.

# Komplementäre Zusammenarbeit

**Die Eawag engagiert sich auch in der Ausbildung von Studierenden und pflegt ein enges Netzwerk mit Schweizer Hochschulen. Dadurch lassen sich Synergien nutzen und die Interdisziplinarität fördern. In der Lehre stützt sie sich stark auf die eigene Forschung.**

Obwohl die Eawag als Forschungsinstitut des ETH-Bereichs primär in der Forschung tätig ist, zeigt sie ein grosses Engagement in der Ausbildung von Studierenden. So lehrten 2010 über 20 Prozent des wissenschaftlichen Personals der Eawag an Universitäten, der ETH Zürich, der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) und an Fachhochschulen.

Insgesamt arbeiteten 2010 an der Eawag acht ordentliche Professorinnen und Professoren, sieben davon lehrten an der ETH Zürich und an der EPFL. Eawag und EPFL verstärkten ihre Zusammenarbeit mit zwei neuen ordentlichen Professuren: die Professur für Umweltchemie der Eawag-Direktorin Janet Hering, die auch Professorin an der ETH Zürich ist, und die Professur für Trinkwasseraufbereitung von Urs von Gunten. Kristin Schirmer, Leiterin der Abteilung Umwelttoxikologie, wurde 2010 ebenfalls an der EPFL zur Titularprofessorin ernannt.

## Diverse Lehraufträge

Verschiedene Eawag-Angehörige haben zudem Lehraufträge als Professorinnen oder Professoren an kanto-

nen Universitäten: Mario Schirmer von der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser ist Titularprofessor für Hydrogeologie an der Universität Neuenburg. An der Universität Bern unterhält die Eawag gemeinsam mit dem dortigen Institut für Ökologie und Evolution einen Lehrstuhl; Ole Seehausen, Leiter der Abteilung Fischökologie und Evolution, hat dort eine Professur im Bereich der Aquatischen Ökologie inne.

Für seine Lehre über Innovationsverhalten wurde Bernhard Truffer, Leiter der Abteilung Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung (Cirus), von der Universität Bern kürzlich mit einer Titularprofessur gewürdigt. Mit Heiko Gebauer beteiligt sich ein zweiter Wissenschaftler von Cirus im Bereich Technologiemanagement an der Universität St.Gallen an der Lehre. An der Universität Zürich setzt Hans-Joachim Mosler von der Abteilung Systemanalyse und Modellierung einen Schwerpunkt im Bereich Umweltpsychologie.

## Fachliche Spezialisierung

Der besondere Ansatz der Eawag-Lehre liegt darin, dass sie sich sehr stark auf die eigene, auf Interdisziplinarität und ganzheitlichem Systemdenken basierende Forschung abstützt. Dadurch können die Dozierenden neuestes wissenschaftliches Wissen vermitteln; die Studierenden lernen dabei, sich im Umfeld lösungsorientierter Forschung in der Schweiz und im Ausland einzubringen und sich weltweit zu messen.

Die Anzahl Dissertationen sowie Bachelor- und Masterarbeiten mit Eawag-Beteiligung ist 2010 im Vergleich zum Vorjahr insgesamt um rund ein Drittel angestiegen (153 betreute Dissertationen, 142 betreute Bachelor- und Masterarbeiten). Die meisten dieser Arbeiten werden an der Eawag durchgeführt, die Studierenden jedoch in enger Partnerschaft

zwischen ihrer jeweiligen Hochschule und der Eawag betreut. Diese Art der Zusammenarbeit ermöglicht ein komplementäres Lehrangebot: Während die Hochschulen die Grundausbildung der Studierenden sicherstellen, gewährleistet die Eawag die fachliche Spezialisierung.

## Transfer in die Praxis

Das hohe Niveau ihrer Arbeit und damit auch ihrer Ausbildung zeigt sich unter anderem in nationalen und internationalen Auszeichnungen, die Eawag-Studierende regelmässig erhalten. So wurden für ihre Doktorarbeiten im Jahr 2010 Linda Roberts mit dem Otto-Jaag-Gewässerschutzpreis und Natacha Pasche mit dem Hydrobiologie-Limnologie-Preis ausgezeichnet.

Während die Doktorandinnen und Doktoranden der Eawag zunehmend auch von ausländischen Hochschulen stammen – 2010 entstand rund ein Fünftel der abgeschlossenen Dissertationen in Zusammenarbeit mit einer Hochschule im Ausland –, erfolgt der Unterricht überwiegend in Zusammenarbeit mit Schweizer Hochschulen, insbesondere auch mit jenen der französischsprachigen Kantone. Durch dieses Netzwerk lassen sich grosse Synergien nutzen und die Interdisziplinarität fördern.

Zudem erlaubt es, einen Teil der Lehre, zum Beispiel Blockkurse oder Praktika, an der Eawag durchzuführen, wodurch sich die Bindung der jungen Forschenden an die Eawag als Institution verstärken lässt. Umgekehrt ist es ein Anliegen der Eawag, mit ihrer Lehre ganzheitliches und problemorientiertes Denken in der Praxis zu verankern. ○ ○ ○



Susi Lindig, ETH Zürich

*Gut vernetzt: Die Eawag arbeitet in der Lehre eng mit anderen Hochschulen zusammen.*

# Analysieren und kommunizieren

**Im Praktikum «Aquatiscche Systeme» lernen Studierende das methodische und analytische Handwerk der Wissenschaft. 2010 untersuchten sie an der Thur die Auswirkungen der Flussrevitalisierung – und schafften es damit sogar in die Medien.**

Wie funktioniert Wissenschaft, wie arbeiten Forscherinnen und Forscher? Das erfuhren Bachelorstudierende der Umweltnaturwissenschaften der ETH im Praktikum «Aquatiscche Systeme» ganz konkret. «Die Studierenden sollen das gesamte Spektrum wissenschaftlichen Arbeitens an einem realen Forschungsprojekt erleben und erlernen», sagt Praktikumsleiter Bernhard Wehrli. Er ist Professor für Aquatische Chemie an der ETH und forscht an der Abteilung Oberflächengewässer der Eawag.

## Ganzheitlich denken

2010 fand das jährlich durchgeführte Praktikum an der renaturierten Thur bei Frauenfeld im Rahmen des Revitalisierungsprojekts Restored corridor dynamics (Record) der Eawag statt. Neben Wehrli betreuten einzelne Forschende der drei Abteilungen Wasserressourcen und Trinkwasser, Umweltchemie und Gewässerökologie sowie vom Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik der ETH Zürich die Studierenden. «Wir wollen die Interdisziplinarität und das ganzheitliche Systemdenken, das die Eawag-Forschung auszeichnet, auch den Studierenden näherbringen», erklärt Wehrli.



Öffentlichkeitsarbeit: Die Studierenden organisierten eine Exkursion, die lokal auf reges Interesse stiess.

Ziel des Praktikums war zudem, die rund 20 Studierenden mit den modernen Methoden der Probenahme und der physikalischen, chemischen und biologischen Analyse eines Gewässersystems bekannt und vertraut zu machen. Nicht zuletzt ging es auch darum, Erfahrungen in der Arbeit im Team zu sammeln.

Während rund 30 Tagen verteilt auf das Wintersemester erforschten die angehenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Auswirkungen der Thur-Revitalisierung auf die Grund- und Flusswasserqualität, die ökologischen Verbesserungen des Lebensraumes oder den Einfluss chemischer Verunreinigungen aus den nahen Kläranlagen auf das Ökosystem. In verschiedenen Arbeitsgruppen befassten sie sich jeweils mit einem Thema aus dem Bereich

## Die Renaturierung wirkt

Der rund 700 Meter lange renaturierte Abschnitt der Thur unterhalb von Frauenfeld beherbergt im Vergleich zum kanalisierten Bereich eine überdurchschnittliche Vielfalt von Kieselalgen und Insekten. Dies ist eine der Erkenntnisse aus dem letztjährigen Praktikum «Aquatiscche Systeme». Im revitalisierten Flussabschnitt fanden die Studierenden zum Beispiel 23 Artengruppen von Insektenlarven, 50 Prozent mehr als im begradigten. Darunter befanden sich auffällig viele Steinfliegen, die hohe Ansprüche an ihren Lebensraum stellen. Von den positiven Resultaten waren sogar gestandene Forschende überrascht.

Umweltchemie, Mikrobiologie, Makrobiologie und Umweltphysik.

Die Teilnehmenden spielten dabei den gesamten Ablauf wissenschaftlicher Forschung durch: von der konkreten Fragestellung über Probenahmen im Feld, Analysen im Labor, die Aufbereitung und Auswertung der Daten bis zur Dokumentation, Präsentation und Diskussion der Ergebnisse. Die einzelnen Prozessschritte hatten sie individuell in einem Feld- und Laborbuch und als Gruppe in Form von Protokollen und Fotos zu dokumentieren. In einem Integrationsblock am Schluss des Kurses stellten die Gruppen einander ihre Arbeiten und Erkenntnisse vor.

## In der Zeitung

Wie sich wissenschaftliche Sachverhalte und Resultate am besten in der Öffentlichkeit kommunizieren lassen, erläuterte schliesslich der Medienverantwortliche der Eawag, Andri Bryner. Die jungen Forschenden organisierten unter seiner Anleitung eine öffentliche Exkursion und verfassten zwei Artikel, die von einzelnen Medien tatsächlich aufgegriffen wurden und zum Beispiel Eingang in einen Zeitungsbeitrag der NZZ fanden. ○○○

[www.ibp.ethz.ch/research/aquaticchemistry/teaching/Systempraktikum](http://www.ibp.ethz.ch/research/aquaticchemistry/teaching/Systempraktikum)

Kontakt:  
Prof. Bernhard Wehrli, [bernhard.wehrli@eawag.ch](mailto:bernhard.wehrli@eawag.ch)



Die angehenden Umweltwissenschaftler bei den Probenahmen an der Thur.

# Sich praxisorientiert weiterbilden

**Die Praxisorientierten Eawag-Kurse (Peak) vermitteln aktuelles Wissen aus der Wasserforschung und fördern den Dialog zwischen der Forschung und der Praxis. Das Verhalten von Nanomaterialien in der Umwelt, Trinkwasserqualität in Entwicklungsländern sowie Methoden zur Untersuchung von Grundwasser waren 2010 wichtige und aktuelle Weiterbildungsthemen.**

Nanopartikel – oft in Verbindung mit Metallen – finden Konsumentinnen und Konsumenten immer häufiger in Alltagsprodukten wie Putzmitteln, Kleidern, Medikamenten oder als Bestandteil von Fassadenanstrichen. Trotzdem sind die Kenntnisse über das Verhalten der winzigen, einige millionstel Millimeter grossen Teilchen in der Umwelt und die damit verbundenen Risiken noch sehr lückenhaft und auch in der Fachwelt nur wenig verbreitet. Zusammen mit der Empa und weiteren Partnern erforscht die Eawag seit mehreren Jahren verschiedene Fragenkomplexe im Zusammenhang mit der Umweltproblematik von Nanopartikeln. Die Eawag kann dabei auf langjährige Erfahrungen bei der Erforschung der Chemie und Ökotoxikologie von Metallen aufbauen.

## Mit Fachkollegen austauschen

Dementsprechend war es das Ziel des 2010 im Rahmen des Weiterbildungsprogramms Peak (siehe Kasten) stattfindenden Vertiefungskurses «Metalle und synthetische Metallnanopartikel in der aquatischen Umwelt», den aktuellen Stand des Wissens in der Chemie, Ökotoxikologie und Analytik von Metallen und Metallnanopartikeln in aquatischen Systemen zu vermitteln. Laura Sigg und Renata Behra von der Abteilung Umwelttoxikologie und Ralf Kägi von der Abteilung Verfahrenstechnik stellten den Fachleuten aus der Praxis neue Erkenntnisse und Forschungsergebnisse der Eawag und der Empa vor und diskutierten sie mit ihnen.

«Eine solide Analytik ist die Basis für eine Risikobeurteilung», fasst einer der rund 30 Absolventen seine Erkenntnisse aus dem zweitägigen Kurs zusammen. Teilgenommen haben vor allem Fachleute aus kantonalen Gewässerschutzämtern und Laboratorien sowie aus privaten Anzeigelabors und Umweltbüros. Der Kurs zeigte auch, wie wenig man über Nanopartikel zurzeit noch weiss. So gebe es beispielsweise noch kein analytisches Verfahren, das in einem normalen Umweltlabor angewendet werden könne, wie ein anderer Teilnehmer feststellte.

Die Kursbesuchenden schätzten besonders den angeregten Austausch mit anderen Fachpersonen, die Präsentation konkreter Fallbeispiele und Daten sowie dass der Anlass theoretisches Wissen mit praktischer Anwendung verband. Einen allgemeinen Wissens- und Weiterbildungsbedarf orteten sie insbesondere bei den analytischen Methoden, der Risikobeurteilung und -handhabung sowie bei den rechtlichen Grundlagen.

## Praktikable Lösungen aufzeigen

Beim international ausgerichteten Vertiefungskurs «Improvement of drinking water quality in developing countries» unter der Leitung von Annette Johnson von der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser und Rick Johnston von der Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern war die Verbesserung der Trinkwasserqualität in Entwicklungsländern Thema. Die beiden Forschungsabteilungen der Eawag befassen sich unter anderem mit der Problematik von mikrobiellen und geologisch bedingten Verschmutzungen von Trinkwasserquellen. Neben Hygienemangel stellen Arsen- und Fluorid-Kontaminationen von Trinkwasser in verschiedenen Regionen Südostasiens eine wichtige Ursache für Erkrankungen dar.

Die Sanierung von verschmutzten Trinkwasserquellen setzt vertiefte Kenntnisse und die Verfügbarkeit moderner Technologien voraus, die – anders als in betroffenen Entwicklungsländern – an der Eawag verfügbar sind. Daher hat die Eawag mit lokalen Partnern Untersuchungen und Forschungsaktivitäten entwickelt, um die Verbreitung der Problematik zu untersuchen und Lösungen zu erarbeiten, die den Möglichkeiten der Betroffenen angepasst sind.

Der Kurs wandte sich an Wasser- und Hygienefachleute, die in Entwicklungs- und Schwellenländern in diesen Bereichen aktiv sind. In Vorträgen und Gruppenarbeiten wurde die Problematik aufgezeigt, vertieft und es wurden Lösungsansätze erarbeitet. Die Teilnehmenden schätzten am Weiterbildungsanlass vor allem den ganzheitlichen Ansatz der Veranstaltung sowie die motivierte und kompetente Leitung.



Aufmerksam folgen die Kursteilnehmenden den Ausführungen von Ralf Kägi.

### Praxisorientierte Eawag-Kurse (Peak)

Die Praxisorientierten Eawag-Kurse richten sich an Fachleute aus Wirtschaft, Verwaltung, Ingenieur- und Umweltbüros. Sie vermitteln aktuelles Wissen und stärken den Austausch unter den Teilnehmenden sowie zwischen Wissenschaft und Praxis. Jährlich werden fünf bis zehn Veranstaltungen durchgeführt.

Die Peak wurden 1993 ins Leben gerufen, um neue Erkenntnisse und Resultate aus der Eawag-Forschung der Praxis direkt zugänglich zu machen und dabei gleichzeitig Erfahrungen auszutauschen. Nach den Lehr- und Fortbildungskursen «Chemische Wasseranalyse, Interpretation der Wasserqualität», welche die Eawag in den 1970er-Jahren angeboten hatte, waren die Peak neben dem Nachdiplomstudium und dem Nachdiplomkurs «Siedlungswasserwirtschaft und Gewässerschutz» das erste systematische Weiterbildungsangebot der Eawag. Die Kurse wurden als frei wählbare Module auch in das Nachdiplomstudium beziehungsweise in den Nachdiplomkurs einbezogen.

Basiskurse vermitteln die Grundlagen für das Verständnis von Umweltproblemen sowie einen aktuellen Überblick über die jeweilige Thematik. Vertiefungskurse geben eine Gesamtsicht von Umweltproblemen anhand konkreter Beispiele und Fallstudien, während Anwendungskurse dem Erlernen praktischer Methoden zur Erfassung, Vermeidung und Verminderung spezifischer Umweltprobleme dienen. Die Kurse dauern in der Regel zwei bis drei Tage und beinhalten Vorlesungen, Übungen und Gruppenarbeiten.

Bis Ende 2010 hat die Eawag 31 verschiedene Vertiefungs-, 16 Basis- und 28 Anwendungskurse durchgeführt, einige davon sogar mehrmals. Gemeinsam mit der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) und dem Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (Cemagref) in Lyon hat sie in derselben Zeitperiode jährlich ein bis zwei Ökotoxikologie-Kurse für die Praxis organisiert – ein Angebot, das ab 2008 das neu gegründete Oekotoxizentrum (siehe Seite 44) übernimmt.

### Effiziente Methoden kennen lernen

Ein dritter Weiterbildungskurs des vergangenen Jahres organisierte die Eawag zum Thema «Moderne Untersuchungsmethoden zur Bewirtschaftung von Grundwasser». Grundwasser ist die wichtigste Trinkwasserquelle in vielen Regionen der Welt. Die Erneuerung von Grundwasser kann je nach klimatischen Bedingungen und lokalen Verhältnissen wenige Wochen bis Tausende von Jahren dauern. Verunreinigungen wirken sich dementsprechend unterschiedlich rasch auf Wasserversorgungen aus und



Analysemethoden für Nanopartikel werden vorgestellt.



Gut besucht: Der Kurs zum Thema Nanopartikel in der aquatischen Umwelt rief grosses Interesse hervor.

entsprechend schwierig und langwierig kann sich ihre Entfernung gestalten.

Speziell bei der Erkundung von Altlasten in Grundwasserschichten sind deshalb effiziente Untersuchungsmethoden von sehr grosser praktischer Bedeutung. Ihr Einsatz ist ein wichtiger Kostenfaktor und bedarf einer sorgfältigen Planung. Eduard Hoehn und Mario Schirmer von der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser zeigten im Kurs anhand der Flussrevitalisierung der Thur bei Niederneunforn (TG), was die Analyse von Zeitreihen und die sogenannte Direct-Push-Methode leisten können. Bei Letzterer treibt man mit einem speziellen Bohrgerät schnell und kosteneffizient kleine Sonden für Messungen oder Probenahmen in den Untergrund.

Die Teilnehmenden lernten, wie sich mit Hilfe von Zeitreihen zur Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit Eigenschaften des Grundwassers herleiten lassen. Zudem erfuhren sie, wie man aufgrund von Isotopenuntersuchungen die Wege des Wassers und jene von Verschmutzungen verfolgen kann.

### Aktuelles Wissen weitergeben

Neben den drei vorgestellten Kursen standen 2010 zum wiederholten Mal die Kurse «Elektrofischen für Ausbilder» und «Chemische Umweltanalytik» auf dem Programm. Im Bereich Elektrofischen ist die Eawag in der Schweiz die einzige Institution mit der entsprechenden Kompetenz, während die Umweltanalytik ein dynamisches Gebiet mit einem hohen Bedarf an Wissenstransfer darstellt. Zudem führte die Eawag im vergangenen Jahr auch wieder den äusserst beliebten Kurs «Fische in Schweizer Gewässern» durch, bei dem die Teilnehmenden die heimische Fischfauna und deren Biologie und Ökologie kennen lernten.



[www.eawag.ch/lehre/peak](http://www.eawag.ch/lehre/peak)

Kontakt:

Dr. Herbert Güttinger, [herbert.guettinger@eawag.ch](mailto:herbert.guettinger@eawag.ch)

# Den Horizont erweitern

**In den Summer Schools der Eawag haben junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Möglichkeit, sich mit Spitzenforschenden auszutauschen. Eawag-Direktionsmitglied Peter Reichert betont die internationale Ausrichtung und den Weiterbildungscharakter der Veranstaltungen.**



## **Was unterscheidet eine Summer School vom normalen Lehrbetrieb einer Hochschule?**

Eine Sommerschule ist in vielen Aspekten mit einer Blockveranstaltung, bestehend aus Vorlesungen, Workshops, Übungen und Praktika an einer Hochschule vergleichbar. Die wesentlichsten Unterschiede sind, dass man bei einer Sommerschule in der Regel auf ein breites, international verankertes Feld von Referierenden zurückgreift und dass die Sommerschule auch für Teilnehmende international ausgeschrieben wird. Dieser internationale Austausch ist ein wesentliches zusätzliches Element von Sommerschulen. Zudem finden sie jeweils in der vorlesungsfreien Zeit der Semesterferien statt.

## **Was ist die Idee hinter den Eawag-Sommerschulen?**

Der Dialog zwischen den eingeladenen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern und dem internationalen Feld der Teilnehmenden im Rahmen einer längeren Veranstaltung soll den Horizont erweitern und kann auch konkret zu neuen Forschungsideen beitragen. Ausserdem ergibt sich für Eawag-Mitarbeitende die Möglichkeit, mit den eingeladenen Forschenden in Kontakt zu treten und sich intensiver auszutauschen. Insbesondere können die Gastwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler ihren Besuch für einen ausgedehnteren Aufenthalt zur Forschungszusammenarbeit kombinieren. Ein weiterer Profit für die Eawag ist die Weiterbildung ihrer Doktorierenden. Schliesslich tragen Sommerschulen auch zur Erhöhung der Sichtbarkeit der Eawag in den betreffenden Gebieten bei.

## **An wen richten sich die Veranstaltungen?**

Die Eawag-Sommerschulen richten sich primär an Doktorierende. Wegen der Mitfinanzierung durch das Doktorierendenförderprogramm des Schweizerischen Nationalfonds war die Teilnahme bei einer der beiden letztjährigen Sommerschulen in Kastanienbaum im Wesentlichen sogar auf Doktorierende beschränkt. Die zweite Sommerschule und jene in Dübendorf waren dagegen für alle Interessentinnen und Interessenten offen. Für die Auswahl waren der Lebenslauf, der aufgrund des Moti-

vationsschreibens zu erwartende persönliche Profit und Referenzen wichtig. Bei der Sommerschule in Dübendorf wurde zudem auf eine ausgewogene Beteiligung interner und externer Teilnehmender geachtet. Das erlaubt den internen Teilnehmenden, sich in einem internationalen Umfeld weiterzubilden.

## **In welchem Rahmen finden die Sommerschulen an der Eawag statt?**

Die Eawag hat dazu keine starren Richtlinien. Die Organisierenden der Sommerschulen können über den Rahmen weitgehend selber entscheiden. Wichtige Kriterien sind die Verfügbarkeit der Referierenden und der Umfang des gewählten Themas. Wegen der Wichtigkeit des praktischen Teils wurden zum Beispiel 2010 eine der Sommerschulen in Kastanienbaum zweiwöchig durchgeführt, während sich die anderen auf fünf bis sieben Tage beschränkten.

## **Finden die gleichen Kurse regelmässig statt?**

Die Sommerschule in Dübendorf fand bereits zweimal zum Thema «Environmental systems analysis» statt und wird auch 2011 wieder zu diesem Thema angeboten. Da die Sommerschulen weniger direkt mit dem Mandat der Eawag verknüpft sind als die Weiterbildung von Fachleuten in der Schweiz, besteht für die Organisierenden ein grosser Freiraum. Ein wichtiges Kriterium, eine Sommerschule durchzuführen, ist sicher der oben erwähnte erwartete Zusatznutzen für die Eawag. In Abhängigkeit vom Thema, der zur Verfügung stehenden externen Referierenden und dem internen Weiterbildungsbedarf kann sich dieser Zusatznutzen mit der Zeit ändern. Aus diesem Grund ist es nicht sinnvoll, sich längerfristig auf ein regelmässiges Angebot zu verpflichten.

## **Wie finanziert die Eawag ihre Summer Schools?**

Die direkten Auslagen der Sommerschulen in Kastanienbaum wurden 2010 zu einem grossen Teil durch das Doktorierenden-Förderungsprogramm des Schweizerischen Nationalfonds und das Netzwerkprogramm «Frontiers in speciation research» der European Science Foundation finanziert. Jene in Dübendorf wurden durch Beiträge der Teilnehmenden gedeckt. Die Eawag und die Heiminstitutionen der externen Referierenden haben in allen Fällen die Salärkosten der Referierenden getragen.

Peter Reichert ist Leiter der Forschungsabteilung Systemanalyse und Modellierung der Eawag, Titularprofessor am Departement für Umweltwissenschaften der ETH Zürich und Mitglied der Eawag-Direktion. In dieser ist er verantwortlich für das Ressort Weiterbildung.

Kontakt: peter.reichert@eawag.ch

## Abwechslungsreiches Programm

2010 führte die Eawag drei Sommerschulen durch. Die Sommerschule «Environmental systems analysis» von Peter Reichert, Leiter der Abteilung Systemanalyse und Modellierung, befasste sich mit modellbasierter Datenanalyse in den Umweltwissenschaften. In der Wissenschaft haben mathematische Modelle zum Testen von Hypothesen, zur Zusammenfassung und Kommunikation des Wissens und für Prognosen eine grosse Bedeutung. Der Kurs vermittelte einen Überblick über systemanalytische Techniken, die wichtig sind für die modellbasierte Datenauswertung, und ermöglichte erste Erfahrungen, wie man diese Techniken praktisch einsetzen kann. Zudem bekamen die Teilnehmenden Hilfestellungen zur Auswertung ihrer eigenen Daten. Die rund 35 Teilnehmenden waren vor allem Doktorierende, vereinzelt jedoch auch erfahrenere Forschende und Leute aus der Praxis.

Die Sommerschule «Methods of empirical speciation research» von Ole Seehausen, Leiter der Abteilung Fischökologie und Evolution, hatte die Entstehung neuer Arten zum Thema. Die Teilnehmenden lernten die wichtigen klassischen und neuen Konzepte im Bereich Artbildungsforschung kennen und erhielten Einblick in die moderne Methodik insbesondere im Bereich Populationsgenomik. Zudem wurden interdisziplinäre Forschungsansätze diskutiert. Der Anlass bot auch die Möglichkeit, sich mit Spitzenforschern auszutauschen. Der Kurs richtete sich an Doktorierende, Postdoktorierende sowie aussergewöhnlich qualifizierte und motivierte Masterstudierende und war auf 25 Teilnehmende beschränkt.



*Kursteilnehmende bei der Probenahme auf dem Vierwaldstättersee im Rahmen der Sommerschule über Schadstoffdynamik und die Biogeochemie von Seen.*

Die Sommerschule «Understanding and modelling pollutant dynamics and biogeochemistry in lakes» von Bernhard Wehrli von der Abteilung Oberflächengewässer befasste sich mit der Schadstoffdynamik und Biogeochemie von Seen. Die rund 20 Teilnehmenden lernten verschiedene quantitative Ansätze kennen, um organische Chemikalien und biogeochemische Schlüsselstoffe zu analysieren und deren Schicksal und Verhalten in Seen vorherzusagen. Zudem bestand im Rahmen des Kurses die Möglichkeit, die Auswertung eigener Daten zu diskutieren. Auch diese Sommerschule richtete sich in erster Linie an Doktorierende und qualifizierte und motivierte Masterstudierende. ○ ○ ○



*Referentin Katie Peichel vom Fred Hutchinson Cancer Research Centre, USA, beobachtet Stichlinge im Kurs über Artbildung.*



*Ein Doktorand der Universidad de Granada, Spanien, präsentiert sein Poster über Artbildungsprozesse bei Pflanzen.*

# Im Wald für Beruf und Leben lernen

**Neben den beruflichen Fähigkeiten und Fertigkeiten fördert die Berufsbildung der Eawag gezielt auch die Sozial- und Selbstkompetenz der Lernenden. Die Fähigkeit, das eigene Handeln zu reflektieren, und eine hohe Kommunikationskompetenz sind für die angehenden Berufsleute wichtige Schlüsselqualifikationen, um im heutigen Arbeitsmarkt zu bestehen.**

In der Schweiz mit ihrem dualen Bildungssystem absolvieren rund zwei Drittel aller Jugendlichen eine berufliche Grundausbildung. Damit stellt die Berufslehre die bedeutendste Form der Erstausbildung dar. Die Eawag hat sich bereits 1997 in ihrem Leistungsauftrag zur Lehrlingsausbildung bekannt. Sie verpflichtet sich gegenüber der Öffentlichkeit, im Rahmen des schweizerischen Berufsbildungssystems am Ausbildungsauftrag massgeblich mitzuwirken.

Die Eawag bildet in erster Linie Laborantinnen und Laboranten der Fachrichtungen Biologie und Chemie aus. Daneben bietet das Forschungsinstitut nach Möglichkeit auch Lehrstellen im kaufmännischen Bereich und in der Informatik an. Die Lernenden stammen in der Regel aus dem Grossraum Zürich. Im Schuljahr 2010/2011 sind an der Eawag 27 Lernende angestellt (siehe Tabelle).

## Lernen im eigenen Labor

Mit dem Inkrafttreten verschiedener neuer Bildungsverordnungen in den vergangenen Jahren wurde die Berufsbildung in der Schweiz auf ein neues Fundament gestellt. Ziel der modernen Berufsbildung ist die Arbeits-

marktfähigkeit der ausgebildeten jungen Erwachsenen. Die Berufsbildung ist deshalb nicht mehr mit straffen Gesetzen geregelt. Die neuen Bildungsverordnungen und Bildungspläne setzen vielmehr bloss die Rahmenbedingungen, innerhalb derer die verschiedenen Berufs- und Industrieverbände die zu vermittelnden und dem modernen Arbeitsmarkt angepassten Lerninhalte ausarbeiten. Die Kantone stellen die Planung und Durchführung sicher und organisieren die Qualifikationsverfahren, die zum Ausstellen der Eidgenössischen Fähigkeitszeugnisse (EFZ) führen.

Die übliche Form der Berufslehre hierzulande basiert auf einer zweigleisigen Ausbildung in einem Lehrbetrieb und in der Berufsbildungsschule, ergänzt mit kantonalen überbetrieblichen Kursen, die grundlegende Fertigkeiten vermitteln. Da die Eawag in Dübendorf für die angehenden Laborantinnen und Laboranten der Fachrichtung Chemie für eine hochwertige Grundausbildung ein eigenes Lehrlabor betreibt – wo auch die Lernenden der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) ausgebildet werden –, sind diese Lernenden von den kantonalen überbetrieblichen Kursen befreit.

Neben der Vermittlung der gewohnten praktischen Lerninhalte (Fähigkeiten und Fertigkeiten) und der theoretischen Lerninhalte (Fachwissen und Allgemeinbildung) sieht die Berufsbildung der Eawag ihre Aufgabe vor allem darin, bei den Lernenden die für ihren Beruf wichtigen Handlungskompetenzen zu entwickeln. Die Berufslehre an der Eawag soll demzufolge ein Übungsfeld darstellen, in dem sich die angehenden Berufsleute die erforderlichen Kompetenzen in echten, dem Berufsalltag entsprechenden Situationen aneignen und diese anwenden können.

## Berufsbildner als Vorbilder

Im Unterschied zur Berufsbildung in der Vergangenheit liegt die Gewichtung heute stärker auf der Schulung von Sozial- und Selbstkompetenz. Die damit verbundene Fähigkeit, das eigene Handeln zu reflektieren und daraus Schlüsse abzuleiten, ermöglicht es den Lernenden, in neuen Situationen adäquat agieren zu können. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Berufsbildner, welche die Lernenden auf den verschiedenen Stationen des Praxisalltags begleiten. Sie sind Vorbilder, und ihre Werte, Haltungen und Einstellungen beeinflussen die Entwicklung der Lernenden in einem nicht zu vernachlässigenden Mass. Teamfähigkeit ist in der modernen und globalisierten Arbeitswelt ebenfalls eine Grundvoraussetzung. Sie bedingt viel Sinn für Kommunikation sowie grosse Belastbarkeit und Konfliktfähigkeit.



*Zu Beginn der Berufsausbildung schulen die Lernenden in einer Waldprojektwoche in Bergün Teamfähigkeit und Sozialkompetenz.*

### Lernende an der Eawag (2010/2011)

Beruf	1. Lehrjahr	2. Lehrjahr	3. Lehrjahr
Laborant/in EFZ Biologie	1	1	1
Laborant/in EFZ Chemie	6	6	7
Informatiker/in Systemtechnik	1	–	1
Kauffrau/Kaufmann	1	1	1
Total	9	8	10

Mit dem Ziel, die Sozialkompetenz und die persönliche Entwicklung der Lernenden zu fördern, organisiert die Eawag verschiedene Lehrlingslager. Ihre neue Lebens- und Ausbildungsphase beginnen die angehenden Berufsleute mit einer Waldprojektwoche in Bergün unter dem Patronat der Bildungswerkstatt Bergwald. Sie sind dabei von Anfang an gefordert, sich unter nicht alltäglichen Umständen in die Gruppe zu integrieren, und lernen, verschiedene Ziele in Teamarbeit zu erreichen. Neben den Tätigkeiten in der Natur bearbeiten sie unter der Anleitung eines professionellen Lerncoachs das Thema Lernen.

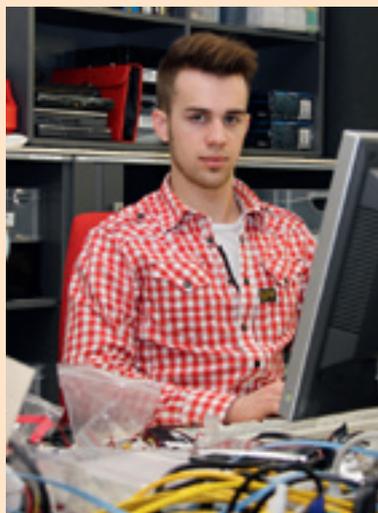
Weitere Lager werden hauptsächlich von den Berufslernenden selbst organisiert und gestaltet. In der Regel wird dabei ein Wochenthema festgelegt, das sie einzeln oder in Gruppen vertieft bearbeiten, dazu Vorträge halten, Diskussionen führen und lernen zu argumentieren.

### Einblick in verschiedene Gebiete

Wie gestaltet sich die fachliche Ausbildung an der Eawag? Die Berufslernenden verbringen jeweils drei bis sechs Monate am gleichen Ausbildungsplatz und wechseln dann in eine andere Arbeitsgruppe oder Abteilung. Die Ausbildung ist dementsprechend breit und gibt Einblicke in ganz unterschiedliche Arbeitsgebiete. Interne Theorieanlässe vertiefen und ergänzen die praktischen Ausbildungsinhalte und den Schulstoff. Im Fall der Laborantinnen und Laboranten arbeitet die Eawag zudem mit

### Ausgezeichnet

Der Berufsverband für Informations- und Kommunikationstechnologie, ICT-Berufsbildung Schweiz, hat 2010 die Abschlussarbeit von Raphael Rietmann von der Eawag als eine der zehn besten Facharbeiten der Schweiz im Schwerpunkt Systemtechnik



ausgezeichnet. Die Arbeit mit dem Thema «Die Implementierung und Integration eines Edge-Transport-Servers in einer Exchange-2007-Organisation» hatte zum Ziel, mithilfe verschiedener Antispam-Filter und Transportregeln Spammails von erwünschten Mitteilungen zu trennen und zu überprüfen beziehungsweise sicherzustellen, dass Letztere korrekt zugestellt werden können.

«Wir sind stolz, dass unsere Lernenden so engagiert und wissbegierig sind», sagt Bouziane Outiti, der an der Eawag für die Ausbildung der Lernenden im Bereich Informatik verantwortlich ist. «Mit einem solchen Engagement ist die Lehre sowohl für den Betrieb als auch für den Lernenden ein grosser Gewinn.» Nach dem erfolgreichen Lehrabschluss war Raphael Rietmann bis zu seinem Militärdienst als

Informatiker an der Eawag angestellt und zuständig für die Softwareverteilung über das Netzwerk. Nach dem Militär hat er vor, ein Studium an einer höheren Fachschule aufzunehmen.

verschiedenen externen Bildungspartnern zusammen. Bei diesen erwerben die Lernenden unter anderem praktische Berufskennntnisse und Fertigkeiten unter gewerblich-kommerziellen Bedingungen eines Routinebetriebes.

Kontinuierliche Aus- und Weiterbildung werden an der Eawag grossgeschrieben. Daher ermuntern die Berufsbildner die Lernenden, ergänzend zu deren Ausbildung auch die eidgenössische **Berufsmaturität** zu **absolvieren**, die bei erfolgreichem Bestehen einen nahtlosen Übertritt an eine entsprechende Fachhochschule ermöglicht.



Übungsfeld für die Praxis: in der Gruppe neues Wissen und Lösungen erarbeiten.

[www.eawag.ch/lehre/bb](http://www.eawag.ch/lehre/bb)

Kontakt:

Samuel Derrer, [samuel.derrer@eawag.ch](mailto:samuel.derrer@eawag.ch)

# Forschen Lehren Beraten



Die Basis guter Beratung ist ausgezeichnete Forschung. Die Eawag fördert den Transfer ihres Know-how in die Praxis und schafft deshalb innerhalb ihrer Institution Anlaufstellen für Fachleute von Behörden und Industrie. Im September 2010 hat das Kompetenzzentrum Trinkwasser (CCDW) an der Eawag seine Arbeit aufgenommen. Als Plattform für Forschung im Bereich Trinkwasser wird es Behörden, Wasserversorger und Partner unterstützen.

Ein Beispiel ist die Begleitung der beiden Basler Kantone mit wissenschaftlicher Expertise für die Trinkwasseraufbereitung im Hardwald. Die Eawag sucht aber auch die Zusammenarbeit mit den nationalen Behörden. Im Projekt «Integriertes Fluss-Management» erarbeiteten Wissenschaftler neue Erkenntnisse für Bund und Kantone und gaben diese in einer gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt veranstalteten Tagung an die Praxis weiter. Im Projekt «Komet» wurden im gegenseitigen Wechselspiel Messmethoden und Vorhersagemodelle entwickelt, um Umwandlungsprodukte von Pestiziden, Bioziden und Pharmaka zu identifizieren, die aufgrund ihrer Konzentrationen und Effekte gewässerrelevant sind. Die Eawag leistet mit solchen Projekten einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung des Gewässerschutzes in der Schweiz.

## Hansruedi Siegrist

### Beraten und forschen Hand in Hand

«Mit der Zeit verliert man die Abscheu davor», sagt Hansruedi Siegrist. Er spricht vom Siedlungsabwasser – seinem Hauptforschungsgebiet. «Meine Freunde schauen aber schon manchmal komisch, wenn ich beim Abendessen von meiner Arbeit erzähle.» Den studierten



Chemiker und Bauingenieur interessieren die Prozesse, die bei der Reinigung von Abwasser ablaufen. Vor 30 Jahren kam er an die Eawag: Damals ging es in erster Linie darum, die Nährstoffe aus dem Abwasser zu entfernen.

Später kamen die anthropogenen Spurenstoffe hinzu. Neben seiner Forschungstätigkeit wird Siegrist häufig von Kläranlagen, Ingenieurbüros und Ämtern als Experte hinzugezogen, um Anlagen und Prozesse zu beurteilen. Umgekehrt ergaben sich auch schon neue Forschungsgebiete aus Beratungsprojekten. So fragte unlängst ein Kläranlagen-Betreiber an, ob es möglich wäre, den Stickstoff im Abwasser statt mikrobiell abzubauen zu Dünger zu verarbeiten. «Daran forschen wir zurzeit», sagt Siegrist. Den Kontakt zu den unterschiedlichen Akteuren schätzt er besonders an seiner Tätigkeit: «Die Abwasserforschung ist interdisziplinär – das hat mich immer fasziniert.»

## Inge Werner

### Natur vor dem Menschen schützen

Wann ist ein chemischer Stoff toxisch? «Diese Frage ist nicht trivial», sagt Inge Werner. «Woran erkenne ich, ob ein Fisch vergiftet ist?» Als Leiterin des Ökotoxizentrums erarbeitet die Biologin Methoden, um die Giftigkeit von Chemikalien zu messen, zu bewerten und zu reduzieren. «Es ist zu einfach, dafür nur den Tod des Organismus zu berücksichtigen», sagt sie. Wie giftig eine Substanz sei, sehe man unter anderem auch daran, ob die inneren Organe eines Tiers geschädigt seien oder wie erfolgreich sich die Art fortpflanze. Zusammen mit ihren



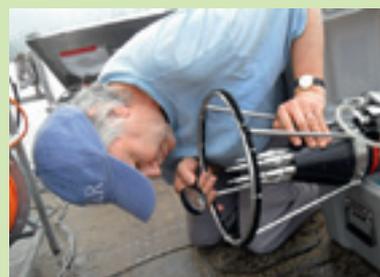
14 Mitarbeitenden entwickelt sie deshalb Verfahren, um den Einfluss von Schadstoffen auf die Umwelt zu bestimmen. Die Bandbreite reicht von Untersuchungen mit Algen oder Zuckmücken bis hin zu Tests auf zellulärer Ebene. Vor allem Bund und Kantone machen von dieser

Dienstleistung Gebrauch. Gefragt sind zudem Expertisen zu konkreten Fragestellungen wie die Behandlung von Abwasser und Deponiesickerwasser. Und für Fachleute aus der Praxis bietet das Zentrum auch Weiterbildungskurse in Ökotoxikologie. Schon vor ihrem Studium befasste Werner sich mit den Themen Ökotoxikologie und Gewässerschutz: Die damalige Fremdsprachensekretärin entschied sich für eine Zweitausbildung in diesem Bereich, «weil wir die Umwelt vor uns selber schützen müssen».

## Alfred Wüest

### Wissenschaft ist kein Selbstzweck

«Ich fühle mich verpflichtet, mein Wissen der Gesellschaft zur Verfügung zu stellen», sagt Alfred Wüest. Er wolle die Wissenschaft nicht um ihrer selbst willen betreiben, sondern dazu beitragen, die natürlichen Gewässer zu erhalten. «Bei meiner Arbeit geht es um das Gleichgewicht zwischen Nutzung und Schutz der



natürlichen Gewässer», sagt Wüest. Der studierte Teilchenphysiker erstellt heute Expertisen für kantonale Umweltämter, Wasserkraftwerke oder Organisationen im Ausland. Im Zentrum des bisher grössten Projekts stand

der Brienersee: «Vor etwa zehn Jahren stellten die Fischer fest, dass die Fische im See kaum mehr wuchsen.» Bei der Analyse wurde rasch klar: Der See führt heute deutlich weniger Nährstoffe als früher, wodurch das liebste Fressen der Fische, die Wasserflöhe, fast ausstarb. Wüest und seine Kollegen fanden heraus, dass die Kläranlagen heute nicht mehr Phosphat dem See zuführen, als von den Stauseen am Grimsel zurückgehalten wird. «Der See kehrte dadurch quasi in seinen natürlichen Zustand zurück. Tatsächlich war der Brienersee ursprünglich ein nährstoffarmer See gewesen – erst durch menschliche Aktivitäten hatte sich dies im 20. Jahrhundert verändert. «Bloss wussten die meisten Menschen nicht mehr, wie das vor 100 Jahren war», sagt Wüest. Er sehe seine Aufgabe deshalb auch darin, Verständnis für die natürlichen Gewässer zu schaffen. «Wir sagen unseren Partnern aber nicht, was sie zu tun haben – wir liefern ihnen Entscheidungsgrundlagen.»

# Mehr sauberes Wasser für diese Welt

**Mit wissenschaftlichen Fakten, Schulungen und Überzeugungsarbeit will die Eawag noch mehr Menschen in Entwicklungsländern für die Sodis-Methode zur einfachen Desinfektion von Trinkwasser gewinnen. Für Katastrophen-Einsätze entwickelt sie einen mobilen Beutel.**

Vor rund zwanzig Jahren entwickelten Forschende der Eawag mit Sodis (die Abkürzung steht für Solar Water Disinfection) eine Methode zur Desinfektion von Trinkwasser. Das einfache und kostengünstige Verfahren ermöglicht es speziell Menschen in Entwicklungsländern, ihr Wasser selber zu reinigen und sich so vor Krankheiten zu schützen. Verkeimtes Wasser wird dabei in transparente PET- oder Glasflaschen gefüllt und während sechs Stunden an die Sonne gelegt. In dieser Zeit tötet die UV-Strahlung der Sonne Durchfall erzeugende Krankheitskeime ab.

## Regierungen überzeugen

Seit mehr als zehn Jahren engagiert sich die Eawag für die Verbreitung der Methode in Afrika, Asien und Lateinamerika. Die Sodis-Gruppe der Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern führt in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern Projekte durch, um die Methode bei jenen Menschen bekannt zu machen, die unter einer schlechten Wasserqualität leiden. Bereits wen-



Keimfreies Wasser vom Dach: Anwendung der Sodis-Methode in einem Slum in Yaoundé, Kamerun.

## «Unsere Kinder sind gesünder»

Nalishebo Kwibisa ist 39 Jahre alt und lebt mit ihrem Mann und ihren vier Kindern in Kaeya im Westen Sambias. Das kleine Dorf verfügt über keine funktionierende Wasserversorgung, das Wasserloch im Dorf ist ungeschützt und das Wasser darin verseucht. Der nächste Brunnen mit sauberem Trinkwasser ist über eine Stunde entfernt. «Der Weg ist zu weit, um dort Wasser zu holen», sagt Kwibisa. «Vom verseuchten Wasser erkrankten unsere Kinder früher aber oft an Durchfall.»

Durch die Gesundheitsberaterin ihres Dorfes erfuhr sie von der Sodis-Methode. Im April letzten Jahres absolvierten sie und ihre Nachbarn eine Ausbildung zur Anwendung der Methode und in verbesserter Hygiene. «Zuerst war ich skeptisch. Als ich jedoch sah, dass die Gesundheitsberaterin ihr Wasser ebenfalls damit behandelt, überzeugte mich das», sagt Kwibisa. Jetzt reinigt sie ihr Trinkwasser jeden Tag mit der Sodis-Methode. «Seither sind unsere Kinder gesünder, das ist für uns eine grosse Erleichterung.»

den weltweit mehr als fünf Millionen Menschen die Sodis-Methode an. Doch in Anbetracht der 900 Millionen Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser ist die Arbeit noch lange nicht getan.

Neben der konkreten Ausbildung von Familien durch Haushaltbesuche liegt ein grosser Schwerpunkt der Aktivitäten bei der Überzeugungsarbeit auf Regierungsebene. Über Regierungsinstitutionen, zum Beispiel Schulen oder Gesundheitszentren, lassen sich zusätzliche Menschen ausbilden. «Diese Kanäle sind kostengünstig und erreichen langfristig viele Menschen», sagt Regula Meierhofer, Geschäftsführerin von Sodis. Um die Regierungen von der Wirksamkeit der Methode zu überzeugen, seien neben Pilotprojekten aber auch wissenschaftliche Studien notwendig.

## Beutel statt Flaschen

So konnten Mikrobiologen der Eawag in Labor- und Feldversuchen zeigen, dass die Methode zuverlässig Krankheitskeime abtötet. Mehrere Gesundheitsstudien untersuchten, ob sie auch tatsächlich Durchfälle verhindern kann. In den Slums von Yaoundé, Kamerun, verglichen Wissenschaftler der Eawag Durchfallraten bei Kindern aus Haushalten, die ihr Trinkwasser mit der Sodis-Methode behandelten, mit jenen von Kindern,

die unbehandeltes Wasser tranken. Dabei fanden sie heraus, dass die Kinder aus Sodis-Haushalten rund 40 Prozent weniger an Durchfall litten als die anderen Kinder.

Persönliche Erfahrungsberichte unterstützen die Studienresultate: Kinder von Sodis-Anwendern erkranken seltener an Durchfall und gehen dadurch regelmässiger in die Schule (siehe Kasten). Ausserdem spart die Familie das Geld für Medikamente zur Behandlung von Durchfallerkrankungen.

Zurzeit untersuchen Sozialpsychologen, ob und warum die Menschen die Methode auch nach Projektende langfristig anwenden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden direkt in die Projektarbeit einfließen.

Für Einsätze in Katastrophengebieten oder in Regionen mit zu wenig PET-Flaschen entwickeln Mitarbeitende der Eawag zudem einen Sodis-Beutel, der gleich zu handhaben ist wie die Flaschen. Dieser liesse sich rasch und kostengünstig transportieren. Bei der Gestaltung des Beutels spielen neben technischen Aspekten auch lokale Bedürfnisse und Gegebenheiten eine grosse Rolle. ○ ○ ○

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

Kontakt: Regula Meierhofer,  
[regula.meierhofer@eawag.ch](mailto:regula.meierhofer@eawag.ch)

# Fische und Fischer in Bedrängnis

**Die Förderung erneuerbarer Energien darf nicht zulasten von Gewässern und Fischen gehen, lautet das Fazit einer von der Fischereiberatungsstelle (Fiber) organisierten Tagung. Dort sorgte auch die neue Tierschutzverordnung für kontroverse Diskussionen.**

Seit Januar 2009 erhalten Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz die sogenannte kostendeckende Einspeisevergütung. Damit will der Bund erneuerbare Energien finanziell fördern. Die Auswirkungen auf Ökosysteme und ihre Bewohner – insbesondere auf die Fische – wurden bei der Einführung weniger stark gewichtet als die Klimaschutzziele.

## Massvolle Nutzung

Das sorgte für Diskussionsstoff am Seminar, das die Fischereiberatungsstelle (Fiber) und der Schweizerische Fischereiverband (SFV) 2010 in Olten unter dem Titel «Fische und Fischer in Bedrängnis» organisiert hatten. In mehreren Referaten informierten Kraftwerksbetreiber, Fischökologen, Naturschutz- und Behördenvertreter über die verschiedenen Aspekte der Wasserkraftnutzung durch Kleinwasserkraftwerke.

So gingen als Folge der finanziellen Neuregelung bereits über 700 Anträge für den Bau neuer Anlagen bei den Kantonen ein. Davon wären auch rund 190 bisher noch unbenutzte Gewässer betroffen. Das Bundesamt für Umwelt (Bafu) will die Kantone unter anderem mit einer am Fiber-

Seminar vorgestellten Vollzugshilfe bei den anstehenden Entscheidungen unterstützen. Sabine Zeller vom Bafu empfahl den Kantonen am Seminar, eine Strategie zur Lenkung der Wasserkraftnutzung zu erarbeiten, die zwischen Nutzungs- und Schutzinteressen abwägt und aufzeigt, wo sinn- und massvolle Nutzung möglich ist und wo Schutz Vorrang hat.

In der anschliessenden Diskussion kam das Publikum zu Wort. Vor allem zu den beantragten Anlagen in noch unberührten Gewässern und in schützenswerten Gebieten gab es viele kritische Stimmen. Dabei zeigte sich einmal mehr, dass für nachhaltige Projekte eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen Kraftwerksbauern, Umwelt- und Fischereiverbänden unabdingbar ist.

## Untauglicher Tierschutz

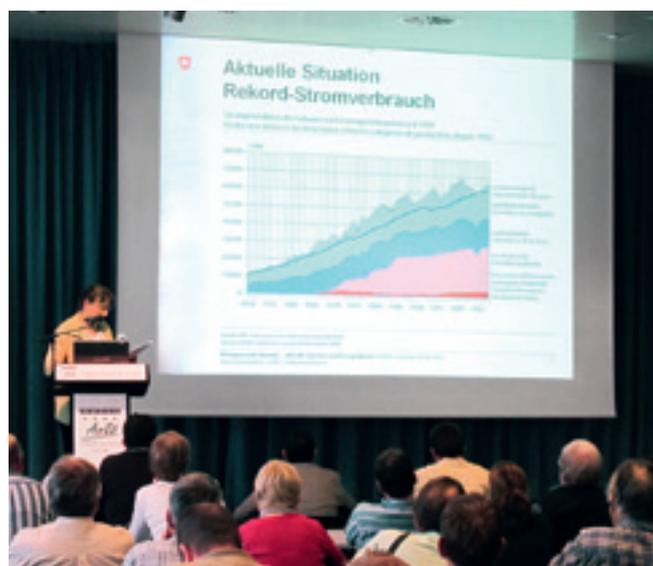
Das zweite kontroverse Thema am Fiber-Seminar waren die 2008 in Kraft getretene neue Tierschutzverordnung und ihre Auswirkungen auf die Angelfischerei. Aus Sicht der meisten Fischer ist die neue Verordnung nicht praxistauglich – Tierschützer sehen das anders. Rolf Frischknecht vom Bundesamt

## Fischereiberatungsstelle Fiber

Seit Mitte 2004 betreiben die Eawag, das Bundesamt für Umwelt (Bafu) und der Schweizerische Fischereiverband (SFV) die Fischereiberatungsstelle in Kastanienbaum (LU). Deren Hauptaufgabe ist die Information der Fischerinnen und Fischer über die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse in den Bereichen Gewässerökologie, Fischbiologie und zum fischereilichen Gewässermanagement. Seit Ende 2009 leitet der 30-jährige Fischbiologe und passionierte Sportfischer Jean-Martin Fierz die Beratungsstelle.

Fiber ging aus dem Forschungsprojekt Fischnetz hervor, das die Ursachen des Fischrückgangs in der Schweiz untersucht und verschiedene Gegenmassnahmen vorgeschlagen hatte.

Die von Fischern, kantonalen und kommunalen Fachstellen und Umweltbüros geschätzte Partnerin beantwortet regelmässig Anfragen und bringt an Gewässern vor Ort oder bei Projekten ihr Fachwissen ein. So war Fiber 2010 etwa für die Markierung von 10 000 Lachsen im Rahmen des Wiederbesiedlungsprojektes Lachs 2020 verantwortlich. Die Beratungsstelle gibt zudem Informationsmaterial und einen Newsletter heraus, führt Seminare durch oder hält Vorträge bei Fischereiverbänden und Interessierten.



*Gut besucht: Rund 100 Teilnehmende kamen ans Fiber-Seminar nach Olten.*

für Veterinärwesen erläuterte Hintergründe und Entstehung der Tierschutzverordnung.

Aus seiner Sicht wird der Druck von Tierschutzorganisationen auf die Angelfischerei anhalten. Er empfiehlt Kantonen und Fischereiverbänden, für angemessene Kontrollen zu sorgen, um extremen Gruppierungen keine Angriffsfläche zu bieten. Frischknecht betonte, dass bezüglich Tierschutz grösstenteils die nicht in einem Verein organisierten Freiangler ohne Sachkundenachweis Probleme bereiten würden.

In der anschliessenden Diskussion wurde der uneinheitliche Umgang der Kantone mit dem Widerhakenverbot kritisiert: Einige Kantone machen von ihrer Kompetenz Gebrauch, beim Angeln Widerhaken teilweise zuzulassen, andere dagegen nicht, was zu Unsicherheiten führt. ○ ○ ○

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

Kontakt:

Jean-Martin Fierz, [jean-martin.fierz@eawag.ch](mailto:jean-martin.fierz@eawag.ch)

# Geld und Energie sparen in der Abwasserreinigung

**Die Kläranlagen haben in der Schweiz einen sehr guten Standard. Nach wie vor ist aber die Entfernung der Nährstoffe aus dem Abwasser ein energie- und kostenintensives Unterfangen. Nun vereinfacht die Weiterentwicklung eines biologischen Verfahrens die Stickstoffelimination aus dem Klärschlammwasser und halbiert in diesem Bereich des Reinigungsprozesses die Kosten.**

Kläranlagen müssen in der Lage sein, giftiges Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) in unschädlichen Luftstickstoff umzuwandeln. Konventionell wird das in zwei Schritten, der Nitrifikation und der Denitrifikation, durchgeführt. Im ersten Schritt benötigt der Prozess viel Sauerstoff, im zweiten muss organischer Kohlenstoff aus dem Abwasser zugegeben werden. Ist zu wenig oder gar kein organischer Kohlenstoff vorhanden wie beim Faulwasser aus der Schlammfäulung, wird eine künstliche Kohlenstoffquelle benötigt, zum Beispiel Methanol.

## Bakterienkolonien erledigen die Arbeit

Vor rund 15 Jahren haben zwei Teams von der Eawag und von holländischen Wissenschaftern einen Prozess entdeckt: die anaerobe Ammoniumoxidation, abgekürzt als Anammox bezeichnet. Anammox-Bakterien können Ammonium ohne Kohlenstoff in unschädlichen Luftstickstoff umbauen. Damit der Prozess läuft, muss auch hier zuerst ein Teil des Ammoniums mit Sauerstoff zu Nitrit ( $\text{NO}_2$ ) umgewandelt werden (partielle Nitritation). Mit dem Nitrit oxidieren dann die Bakterien das restliche Ammonium unter anaeroben Bedingungen zu molekularem Stickstoff.

Lange wurde versucht, diese zwei Stufen des Prozesses getrennt ablaufen zu lassen. Zweistufige Anlagen benötigen aber mehr Platz, und ihre Regulierung ist komplexer. Der Durchbruch kam mit der Erkenntnis, dass sich

der Umwandlungsprozess auch in einer Stufe realisieren lässt. Denn an den Bakterienkolonien der kaum millimeter-grossen Klärschlammflocken findet aussen die aerobe Ammoniumoxidation statt, im sauerstofffreien Innern der Flocken gleichzeitig die anaerobe Anammox-Reaktion.

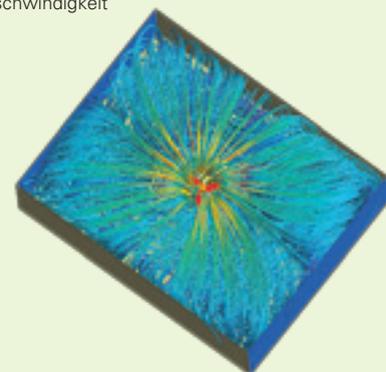
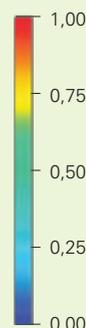
Die Vorteile der Faul- oder Schlammwasserentstickung mit Anammox-Bakterien gegenüber der klassischen Nitrifikation/Denitrifikation sind bedeutend: Vor allem muss das Becken nur noch mit knapp halb so viel Sauerstoff versorgt, das heisst, weniger belüftet werden, und die

## Betriebsoptimierung dank Strömungssimulation

Die Investitionen für Kläranlagen sind beträchtlich. Einmal erstellte Bauten können ohne grossen Aufwand nicht einfach umgebaut werden. Doch in vielen Fällen können mit betrieblichen Änderungen ohne neue technische Einrichtungen Verbesserungen erzielt werden. Mit Hilfe von Computermodellen konnten Ingenieure der Eawag, zusammen mit privaten Partnern, zum Beispiel die Strömungs- und Mischungsverhältnisse in den Becken der biologischen Reinigungsstufe verbessern.

Im Fall der Zürcher Kläranlage Werdhölzli ging es darum, die Umstellung von einem konventionell zu einem alternierend beschickten Becken zu begleiten. Insbesondere musste festgelegt werden, wie ein Wanddurchbruch zwischen zwei Becken am vorteilhaftesten angelegt werden soll und ob eine veränderte Anordnung oder neue Betriebsarten der Belüfter und Rührer die Durchmischung verbessern könnten. Die Simulation zeigte schliesslich die optimale Position und Grösse des Durchbruchs auf, wies aber nach, dass auch das optimierte Becken in keiner Betriebsphase vollständig durchmischbar ist. Aus den Resultaten konnten sodann die besten Standorte für die Sauerstoffsensoren und die Zugabe der Fällungsmittel für die Phosphorelimination abgeleitet und Schlüsse für künftige Regelungskonzepte gezogen werden.

Fließgeschwindigkeit  
in m/s



Modellierte Fließgeschwindigkeiten in einem Belebungsbecken.



Anammox-Testanlage in der Versuchshalle der Eawag.

Zugabe zusätzlichen Kohlenstoffs entfällt (siehe Grafik). Das spart Energie und Betriebsaufwand, die Kosten sinken auf die Hälfte – rund zwei statt vier Franken pro Kilogramm entferntem Stickstoff. Im Fall der Zürcher Anlage Werdhölzli macht das jährlich rund eine halbe Million Franken aus. Ausserdem ist der Prozess sehr effizient: Die Umwandlung des Ammoniums im Prozesswasser zu Luftstickstoff zu über 90 Prozent entlastet die Kläranlage.

Dadurch können der Vergärung mehr organische Stoffe – je nach Anlage sogar zusätzliches Material – zugeführt werden, sodass die Kläranlage mehr Biogas produziert. Ein Fernziel aller Abwasserfachleute, dass nämlich die Abwasserreinigungsanlage (ARA) vom Energieverbraucher zum Kraftwerk wird oder wenigstens ohne Energiezufuhr funktioniert, rückt damit ein Stück näher.

### Die Schweiz ist führend

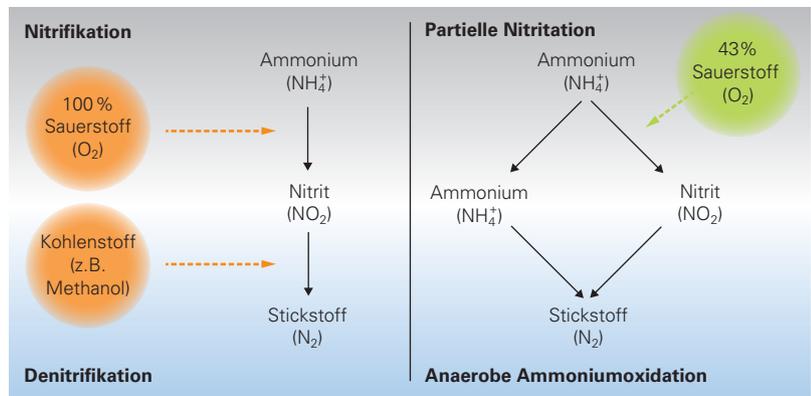
Weil das Anammox-Verfahren der traditionellen Nitrifikation/Denitrifikation bezüglich Platz und Kosten überlegen ist, ist es eine Alternative zum Ausbau einer ARA oder hilft, dass geplante Ausbauten noch aufgeschoben werden können. Bereits nutzen sechs Schweizer Kläranlagen das Verfahren, darunter auch grosse Betriebe wie das Zürcher Werdhölzli oder die ARA St. Gallen. Weitere Anlagen sind in Planung. Nicht zuletzt dank der Unterstützung und Beratung durch die Eawag gilt die Schweiz als führend in diesem Bereich.

Die Entwicklung der Abwasserreinigung zeigt, dass es bei neuen Prozessen oft Jahre dauert, bis sie in der Praxis stabil ablaufen. Selbst beim Belebtschlammverfahren, das bereits vor 1920 entwickelt wurde, scheint das Optimierungspotenzial noch nicht voll ausgeschöpft. Es ist also nicht erstaunlich, wenn der Entstickungsprozess über das Anammox-Verfahren – erst seit fünf Jahren in grossem Massstab betrieben – gegenwärtig noch Möglichkeiten zur Verbesserung aufweist. So haben Untersuchungen der Eawag in der ARA Werdhölzli gezeigt, dass die Leistung zeitweise um bis zu 50 Prozent einbricht. Die Forschenden vermuten, dass toxische Stoffe im Faulwasser die Ammoniumoxidation beeinträchtigen, sodass für die anaeroben Anammox-Bakterien im zweiten Schritt des Prozesses noch zu viel Sauerstoff vorhanden ist.

Heute wird das Anammox-Verfahren hauptsächlich zur Behandlung von Prozesswasser bei der kommunalen Abwasserreinigung sowie bei einigen industriellen Prozessen eingesetzt. Das Anwendungspotenzial ist damit aber noch nicht ausgeschöpft. Ob allerdings Anammox-basierte Prozesse dereinst generell für die Entstickung kommunalen Abwassers genutzt werden können, ist fraglich. Im Unterschied zum Faulwasser erschweren tiefere Temperaturen, geringere Ammoniumkonzentrationen und die deutlich höhere organische Fracht die stabile Ansiedlung von Anammox-Bakterien.

### Nitritelektrode in Entwicklung

Die Prozessstabilität könnte gesteigert werden, wenn es durch verbesserte Regelungsstrategien gelänge, die Belüftung besser an den schwankenden Sauerstoff-



Die konventionelle Umwandlung von Ammonium zu Luftstickstoff (links) benötigt mehr Sauerstoff und zusätzlichen Kohlenstoff. Die Umwandlung über das Anammox-Verfahren (rechts) dagegen braucht weniger als die Hälfte Sauerstoff und keine Zugabe von Kohlenstoff.

bedarf zu koppeln. Dazu entwickeln private Partner der Eawag zurzeit eine ionenselektive Nitritelektrode, die laufend feststellt, wann die Ammoniumoxidations- die Anammox-Rate übersteigt. Die Anforderungen an eine solche Elektrode sind allerdings hoch: Bereits ein Milligramm Nitritstickstoff pro Liter muss im Schlamm erkannt werden – bei einer Belastung mit bis zu 100 Milligramm Nitratstickstoff. Nebst der Sonde soll auch ein vertieftes Verständnis der Flockenstruktur und der Konkurrenzsituation zwischen den beteiligten Mikroorganismen die Steuerung des Prozesses verbessern.

In allen Schweizer Anammox-Anlagen liegt die Biomasse als suspendierte Flocken im Reaktor vor. Der Schlamm sieht dem Belebtschlamm sehr ähnlich. Demgegenüber testen Forschende der Technischen Universität Delft (Niederlande) und der Universität Gent (Belgien) denselben Prozess in Reaktoren mit erhöhten Turbulenzen und geringeren hydraulischen Aufenthaltszeiten. Das führt zu viel kompakteren und gröberen Schlammteilchen oder Granulaten. Die besseren Sedimentationseigenschaften sowie die höhere Dichte dieses granulären Schlammes könnten von Vorteil sein, weil sie höhere Umsatzraten erlauben. ○○○

[www.eawag.ch/forschung/eng](http://www.eawag.ch/forschung/eng)

Kontakt:

Prof. Hansruedi Siegrist, [hansruedi.siegrist@eawag.ch](mailto:hansruedi.siegrist@eawag.ch)

# Künstlich beatmet

**Aufgrund hoher Phosphoreinträge werden in der Schweiz verschiedene Seen künstlich belüftet und mit Sauerstoff versorgt. Eine Evaluation der Eawag zeigt, dass sich der Zustand der beiden Zürcher Mittellandseen, Türlensee und Pfäffikersee, heute eher durch eine zusätzliche Phosphorreduktion und weniger durch die Belüftung weiter verbessern liesse.**

Übermässige Phosphoreinträge aus dem Siedlungsabwasser und der Landwirtschaft führten ab den 1950er-Jahren in der Schweiz zu einer Überdüngung (Eutrophierung) vieler Seen. Erst mit dem zunehmenden Bau von Kläranlagen und dem Verbot von Phosphaten in Waschmitteln gingen die Einträge ab den 80er-Jahren wieder zurück. Vielerorts war es nötig, dem mit der Eutrophierung einhergehenden Sauerstoffmangel im Tiefenwasser der Seen entgegenzuwirken. Man begann deshalb, einzelne Gewässer mit Sauerstoff zu versorgen. So werden zum Beispiel im Kanton Zürich seit 1987 der Türlensee und seit 1992 der Pfäffikersee im Winter künstlich belüftet, was sich positiv ausgewirkt hat. Wie eine Evaluation der Eawag zeigt, lässt sich der Zustand dieser beiden Gewässer heute vor allem mit einer weiteren Phosphorreduktion und weniger durch die Belüftung verbessern.

## Im Sommer geht der Sauerstoff aus

Um im Winter regelmässig eine vollständige Durchmischung der beiden Seen zu ermöglichen und den Sauerstoffgehalt in den tiefen Wasserschichten zu erhöhen, installierte man seinerzeit Anlagen zur Zirkulationsunterstützung. Diese pumpen jeweils von November bis April Luftblasen über den Seeboden und halten damit die Wasserzirkulation bis in grösste Tiefe aufrecht. «Als Folge der guten Durchmischung steigt der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der beiden Seen im Winter auf über

10 Gramm pro Kubikmeter an», erklärt Alfred Wüest von der Eawag-Abteilung Oberflächengewässer, der zusammen mit seinen Mitarbeitenden die Untersuchung im Auftrag des kantonalen Amts für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) durchführte. Durch den Sauerstoffeintrag im Winter vergrössert sich der Lebensraum für Fische.

Im Sommer ist die Zirkulationsunterstützung allerdings ausser Betrieb, damit die in Seen natürlich auftretende Temperaturschichtung des Wassers nicht beeinflusst wird. Dabei schwimmt von der Sonne erwärmtes leichteres Wasser auf dem kalten und schwereren Tiefenwasser. Eine Durchmischung findet nur in der oberflächennahen Wasserschicht statt. Im Spätsommer ist der Sauerstoff im Tiefenwasser vollständig aufgebraucht und für Fische nicht mehr zugänglich.

Hohe Gehalte an Nährstoffen, etwa durch einen Düngemittelintrag aus der Landwirtschaft, haben in Seen ein starkes Algenwachstum zur Folge. Sterben die Algen später ab, sinkt ein Grossteil auf den Seegrund, wo Mikroorganismen die Biomasse abbauen. Die Zersetzung benötigt viel Sauerstoff, sodass in überdüngten Gewässern mit entsprechend viel Algen in den tieferen Wasserschichten akuter Sauerstoffmangel herrscht.

Trotzdem haben sich im Türler- und Pfäffikersee im Vergleich zu früher die Sauerstoffgehalte laut Wüest stark verbessert – allerdings weniger wegen der Zirkulationsunterstützung, sondern wegen der deutlichen Reduktion der Phosphorbelastung. Demnach haben die Phosphorkonzentrationen in beiden Seen seit Mitte der 70er-Jahre deutlich abgenommen. Während der Türlensee früher Konzentrationen von über 200 Milligramm pro Kubikmeter aufwies, liegt der Wert heute bei 16 Milligramm, jener des Pfäffikersees bei 20 Milligramm pro Kubikmeter im Vergleich zu über 100 Milligramm früher. Seen mit solch hohen Phosphorgehalten gelten als hypertroph: lebensfeindliche Gewässer, in deren Tiefe kaum noch Leben existiert.

## Belüftung nicht ersetzen

«Wenn die Zufuhr von Phosphor in den beiden Seen weiter reduziert würde, liesse sich sauerstoffhaltiges Tiefenwasser während des ganzen Jahres ohne zusätzliche Belüftung erreichen», betont Wüest. Zudem entspreche die Durchmischung jeden Winter eigentlich gar nicht den natürlichen Begebenheiten der beiden Seen. Beispielsweise sei es früher im Pfäffikersee im Durchschnitt nur etwa alle zwei Jahre zu einer vollständigen Wasserumwälzung gekommen. Der Türlensee dürfte im Winter sogar nur alle paar Jahrzehnte eine komplette Tiefenmischung erfahren haben.



Die Anlage zur Zirkulationsunterstützung im Türlensee sorgt für eine Durchmischung und einen höheren Sauerstoffgehalt in den tiefen Wasserschichten.

## Nährstoffreicher Zugersee

Der Zugersee ist mit einer mittleren Phosphorkonzentration von 85 Milligramm pro Kubikmeter einer der nährstoffreichsten Seen der Schweiz. Zudem beträgt die Verweildauer rund 15 Jahre, sodass der Nährstoff nur sehr langsam aus dem See abfließt. Im Rahmen eines Projektes zur Reduktion der Phosphorbelastung überprüften Alfred Wüest und Beat Müller von der Abteilung Oberflächengewässer ältere Prognosen, nach denen das von der Begleitkommission Zugersee 1994 angestrebte Sanierungsziel, bis 2040 den Phosphorgehalt auf höchstens 40 Milligramm pro Kubikmeter zu senken, realisierbar ist. Gemäss Wüests neuen Hochrechnungen wird der Zugersee unter den heutigen Voraussetzungen in 30 Jahren noch rund 160 Tonnen Phosphor enthalten, was einer Konzentration von etwa 50 Milligramm pro Kubikmeter entspricht, und damit das Ziel für einen wenig nährstoffreichen See noch nicht erreichen. Allerdings könne sich der Phosphoreintrag aufgrund neuer Entwicklungen in der Landwirtschaft deutlich senken lassen, betont der Wissenschaftler. Darum sei eine neue Evaluation in 15 Jahren sinnvoll.

Um eine positive Sauerstoffbilanz über das ganze Jahr zu erreichen, müsste die Phosphorkonzentration laut dem Wissenschaftler im Türlensee jedoch nochmals halbiert werden. Dagegen sei man im Pfäffikersee schon fast am Ziel, so Wüest.

Eine Zirkulationsunterstützung ist hingegen für beide Seen nicht mehr zwingend notwendig. Deshalb wird das Awel die in die Jahre gekommene Belüftungsanlage im Pfäffikersee nicht ersetzen. Im Winter 2010 stand sie zum letzten Mal im Einsatz. Die künstliche Zirkulationsunterstützung hat jedoch bei beiden Seen geholfen, die Anreicherung von Nährstoffen im Tiefenwasser zu unterbinden und sie wieder in einen nährstoffärmeren (mesotrophen) Zustand zurückzuführen.

## Für die Felchen wird es eng

Um der Gefahr eines Fischsterbens vorzubeugen, belüftet der Kanton Zürich seit 2009 auch einen Teil des Greifensees. Dort bleibt vor allem den Felchen im Hochsommer oft nur noch eine schmale Wasserschicht von weniger als einem Meter. Oberhalb ist es ihnen mit über 21 Grad Celsius zu warm; das kühle Tiefenwasser darunter ist wegen



Montage des Diffusorsystems, das den Greifensee mit Sauerstoff versorgen soll.

der hohen Algenproduktion ab Mitte Sommer ohne Sauerstoff. Zwar ist die Phosphorkonzentration in den letzten 20 Jahren von rund 120 Milligramm pro Kubikmeter auf 40 Milligramm zurückgegangen, doch ist der See damit immer noch sehr nährstoffreich (eutroph).

Ein Diffusorsystem soll die kritische Übergangsschicht zwischen warmem Oberflächenwasser und sauerstofffreiem Tiefenwasser in fünf bis zehn Metern Tiefe (Metalimnion) während des Sommers auf einer Fläche von rund einem Quadratkilometer mit Sauerstoff anreichern. Auf diese Weise wurden ab Ende Mai bis Anfang Oktober rund 26 Tonnen Sauerstoff in den Greifensee gepumpt.

Das Awel beauftragte Alfred Wüest, die Wirksamkeit der Anlage nach einem Jahr zu beurteilen. Dessen Fazit ist durchgezogen: Die eingetragene Menge Sauerstoff habe den Sauerstoffverbrauch nicht befriedigend kompensieren können. «Der Sauerstoffeintrag war nur im August effizient und vor Mitte Juli und nach Anfang September weitgehend wirkungslos», so Wüest. Überdies erwärme der Betrieb der Diffusoren das Metalimnion. Falls die Anlage weiterbetrieben werde, solle man sich auf die Zeit von Mitte Juli bis Anfang September beschränken und dafür einen höheren Sauerstoffumsatz erzeugen, empfiehlt er. Die Anlage hatte jedoch auch eine positive Wirkung: Wie vereinzelte Beobachtungen zeigten, nutzten die Felchen die Diffusoren im Hochsommer als Rückzugsnische. ○○○



Diffusoren pumpten im Jahr 2009 rund 26 Tonnen Sauerstoff in den Greifensee.

[www.eawag.ch/forschung/surf](http://www.eawag.ch/forschung/surf)

Kontakt:  
Prof. Alfred Wüest, [alfred.wueest@eawag.ch](mailto:alfred.wueest@eawag.ch)

# Viel versprechende Biotests

**Toxizitätstests auf der Basis von Zelllinien oder mit ganzen Organismen eignen sich, um die Reinigungsleistung einer Kläranlage in Bezug auf Mikroverunreinigungen zu überprüfen. Damit lassen sich im Routine-Einsatz nicht nur Einzelstoffe, sondern auch Gemische ökotoxikologisch beurteilen, wie eine Untersuchung des Ökotoxizitätszentrums zeigt.**

Das Ziel einer erfolgreichen Abwasserreinigung ist qualitativ einwandfreies Abwasser. Um die Entfernung schädlicher Inhaltsstoffe zu kontrollieren, wird meist die chemische Analytik herangezogen, obwohl ein Nachweis von Stoffen und deren ökotoxikologischer Wirkung mit Hilfe von Zelllinien oder Testorganismen zahlreiche Vorteile bringt. Mit solchen sogenannten Biotests können zum Beispiel toxische Effekte von Stoffgemischen und nicht nur von Einzelstoffen beurteilt werden wie bei chemischen Analysen. Biotests mit ganzen Organismen erfassen sogar die Wirkung aller Substanzen in einer Wasserprobe – unter anderem Chemikalien und Nährstoffe. Zudem lässt sich mit einem einzigen spezifischen Biotest eine ganze Palette von Einzelstoffen mit demselben Wirkmechanismus testen.

Im Rahmen des Projekts «Strategie Micropoll» des Bundesamts für Umwelt hat das Ökotoxizitätszentrum der Eawag und ETH Lausanne für zahlreiche Biotestsysteme untersucht, ob sie geeignet sind, die Entfernung von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen zu verfolgen.

## Zusätzliche Reinigungsstufen im Test

Mikroverunreinigungen sind organische Spurenstoffe, die unter anderem in Pflanzenschutzmitteln, Medikamenten, Bioziden, Duftstoffen, Imprägnierungen, Reinigungsmitteln und Farben vorkommen. Ein Teil dieser Substanzen wird in der normalen Abwasserreinigung nur unvollständig entfernt. Daher lassen sich diese Stoffe im geklärten Abwasser teilweise in Mengen nachweisen, die negative Auswirkungen auf die Gewässer und deren Organismen haben. Zusätzliche Reinigungsstufen in der Kläranlage reduzieren den Eintrag solcher Mikroverunreinigungen in die Gewässer.

Cornelia Kienle vom Ökotoxizitätszentrum prüfte zusammen mit verschiedenen Projektpartnern zwei dieser Technologien in einer Pilotanlage der ARA Vidy in Lausanne. In einem Fall sollten die Mikroverunreinigungen durch eine Behandlung mit Ozon-Gas und eine anschließende Sandfiltration entfernt werden, im anderen Fall durch eine



*Cornelia Kienle und Petra Kunz diskutieren über die Resultate eines Hefe-Östrogen-Tests.*

Aktivkohlebehandlung, gefolgt von einer Ultrafiltration. Dabei wird das Abwasser durch einen extrem feinporigen Filter geleitet.

Anhand von Biotests wollten die Forschenden messen, ob die Entfernung der Mikroverunreinigungen durch die erweiterte Wasserbehandlung verbessert wird, und ermitteln, ob die Tests sich für die Erfolgskontrolle in Kläranlagen eignen. Die Tests sollten überdies nachweisen, ob bei der Ozonung toxische Umwandlungsprodukte entstehen.

Die Ökotoxikologen setzten zwei verschiedene Typen von Biotests ein (siehe Tabelle): Die sogenannten *In-vitro*-Tests basieren auf dem Nachweis spezifischer biochemischer Vorgänge in Zelllinien oder in einzelligen Organismen und können Chemikalienklassen wie zum Beispiel Östrogene oder Herbizide hochsensitiv nachweisen. «*In-vitro*-Tests zeigen aber nur sehr begrenzt, wie Substanzen auf ganze Organismen wirken», erklärt Kienle. Bei *In-vivo*-Tests nutzt man daher ganze Organismen und untersucht die Effekte auf biologische Funktionen wie Wachstum, Sterblichkeit oder Vermehrung. Sie erfassen die Auswirkungen aller Stoffe in einer Abwasserprobe, geben allerdings nur wenig Informationen über die verantwortlichen Substanzklassen.

## Das Ökotoxizitätszentrum



Das Ökotoxizitätszentrum (das Schweizerische Zentrum für angewandte Ökotoxikologie) untersucht und beurteilt die Wirkung von Chemikalien auf die Umwelt mit dem Ziel, Risiken zu minimieren. Das an der Eawag und der ETH Lausanne angesiedelte Zentrum ist ein wichtiges Bindeglied zwischen Forschung und Praxis. Das Ökotoxizitätszentrum engagiert sich in der Beratung, der Weiterbildung, der Durchführung von stark angewandten Forschungsprojekten und der nationalen und internationalen Vernetzung im Bereich Ökotoxikologie. Seit September 2010 ist die aquatische Ökotoxikologin Inge Werner Leiterin der Institution.

## Eine Reduktion von bis zu 100 Prozent

Die Mitarbeitenden der Kläranlage nahmen an verschiedenen Stellen in der Pilotanlage Abwasserproben: im Kläranlagenzulauf, nach der biologischen Reinigungsstufe, nach der Aktivkohlebehandlung mit Ultrafiltration, nach der Ozonung und nach der Ozonung mit nachgeschalteter Filtration. Anschliessend untersuchten die Wissenschaftler die Proben mit den verschiedenen Biotests und chemischer Analytik.

Wie die *In-vitro*-Tests zeigten, verringerte die biologische Reinigungsstufe die toxische Wirkung des Abwassers. Die Substanzen konnten damit jedoch nicht vollständig entfernt werden. Das Abwasser enthielt unter anderem noch Stoffe mit herbizider und hormonähnlicher Wirkung.

Demgegenüber zeigten die spezifischen *In-vitro*-Tests, dass sowohl die Ozonung als auch die Behandlung mit Aktivkohle einen Grossteil der verbliebenen Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser entfernten. «Durch die Kombination von biologischer Reinigung und zusätzlicher Reinigungsstufe liessen sich insgesamt 84 bis 100 Prozent der vorhandenen Mikroverunreinigungen eliminieren», erläutert Kienle. Die chemische Analyse von 58 typischen organischen Spurenstoffen bestätigte dieses Ergebnis.

Die toxischen Effekte nahmen nach der Ozonung in nahezu allen *In-vitro*-Tests ab, was darauf hindeutet, dass bei der Abwasserreinigung keine schädlichen Umwandlungsprodukte entstanden. Defekte am Erbgut oder genetische Mutationen stellten die Forschenden keine fest.

Bei *In-vivo*-Tests mit Glanzwürmern zeigten die Versuchstiere nach der Ozonung eine verminderte Biomasse, nach der Sandfiltration jedoch nicht. Ursache für die Biomassenreduktion könnten laut den Ökotoxikologen labile Umwandlungsprodukte sein, die negative Auswirkungen auf das Wurmwachstum haben und die bei der Ozonung entstehen. Der Sandfilter entfernt diese aber aus dem Abwasser. «Nach der Ozonung sollte also stets ein zusätzlicher Filtrationsschritt mit biologischer Aktivität eingefügt werden, um das Risiko solcher Umwandlungsprodukte zu reduzieren», sagt Kienle.

Bei den *In-vivo*-Tests mit Regenbogenforellen nahm die Toxizität durch die Ozonung und die Behandlung mit Aktivkohle und Ultrafiltration ab, was sich im Vergleich zu den nur in biologisch gereinigtem Abwasser gehaltenen Fischen in einer geringeren Sterblichkeit, höheren Schlupfrate oder einem höheren Gewicht der Fischembryonen zeigte.

### **In-vitro-Tests eignen sich zur Beurteilung**

Die Ergebnisse der übrigen *In-vivo*-Tests waren nicht einheitlich. Bei den meisten nahm die Toxizität nach der biologischen Behandlung ab. Allerdings verringerte keine der zusätzlichen Reinigungsstufen die verbliebene, meist schwache Resttoxizität weiter. Grundsätzlich zeigte sich in den *In-vivo*-Tests nach der Ozonung kein konsistenter Anstieg der Toxizität, der auf die Bildung stabiler toxischer Umwandlungsprodukte hindeuten würde.

Der Vergleich der verwendeten Biotests zeigt, dass es keinen Einzeltest gibt, der sich für die Gesamtbeurteilung der Toxizität einer Abwasserprobe nutzen lässt. Vielmehr muss man stets eine Gruppe von Biotests verwenden. In der Pilotstudie in der ARA Vidy erwiesen sich auf zellulären Vorgängen basierende *In-vitro*-Tests als viel versprechend und geeigneter als integrative *In-vivo*-Tests, um die Entfernung von Mikroverunreinigungen und den Erfolg verbesserter Abwasserreinigungstechnologien zu kontrollieren. Dieser Ansatz sollte laut den Wissenschaftlern

### **Untersuchte Biotests**

Test	Organismus	Nachweisbare Effekte
<b>In vitro</b>		
Hefezell-Östrogen-Test (YES)	Bäckerhefe ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	Östrogene Wirkung durch Bindung an Zellrezeptoren
Verschiedene Calux-Tests (ER, AR, GR, PR)	Menschliche Zelllinien	Wirkung auf verschiedene Hormonrezeptoren (Östrogen-, Androgen-, Glucocorticoid-, Progesteronrezeptoren)
PPARg1-Calux-Test	Menschliche Zelllinie	Wirkung auf Substanzen, die den Fettstoffwechsel beeinflussen
H295R-Steroidgenese-Test	Menschliche Zelllinie	Wirkung auf die Bildung von Steroidhormonen
Micronucleus-Test	Hamster-Zelllinie	Schädigung des Erbguts
UmuC-Test	Salmonellen ( <i>Salmonella typhimurium</i> )	Schädigung des Erbguts
Ames-Test	Salmonellen ( <i>Salmonella typhimurium</i> )	Veränderung des Erbguts
Kombinierter Algentest	Grünalge ( <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> )	Herbizide Wirkung durch Hemmung von Fotosynthese und Wachstum
<b>In vivo</b>		
Lumineszenz-Hemmtest	Bakterien ( <i>Vibrio fischeri</i> )	Hemmung der Biolumineszenz
Wachstumstests	Grünalge ( <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> ) Wasserlinsen ( <i>Lemna minor</i> )	Hemmung des Wachstums
Chronischer Vermehrungstest mit Daphnien	Wasserfloh ( <i>Ceriodaphnia dubia</i> )	Hemmung der Vermehrung, Erhöhung der Mortalität
Amphipoden-Test	Bachflohkrebs ( <i>Gammarus fossarum</i> )	Reduktion der Fressaktivität, Erhöhung der Mortalität
Glanzworm-Vermehrungstest	Glanzwurm ( <i>Lumbriculus variegatus</i> )	Hemmung der Vermehrung, Reduktion der Biomasse
Schnecken-Vermehrungstest	Neuseeländische Zwergdeckelschnecke ( <i>Potamopyrgus antipodarum</i> )	Hemmung der Vermehrung, Erhöhung der Mortalität, hormonaktive Wirkung
Fisचेitest	Zebrabärbling ( <i>Danio rerio</i> )	Erhöhung der Mortalität
Fish-early-life-stage-Test (FELST)	Regenbogenforelle ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> )	Reduktion der Schlupfrate, Erhöhung der Mortalität, Fehlbildungen, Verhaltensstörungen, Hemmung des Wachstums, Wirkung auf die Hormonproduktion

weiter verfolgt werden. Es sei vor allem eine Standardisierung und Zertifizierung der Methoden wichtig, um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

*In-vivo*-Tests sind generell schwieriger zu interpretieren, da die ablaufenden biologischen Prozesse komplex sind; auch die Kosten dieser Tests sind deutlich höher. «Dennoch sind chronische *In-vivo*-Tests sinnvoll, um den Effekt auf ganze Organismen zu beurteilen», sagt Kienle. Noch fehlen allerdings geeignete Tests mit besonders sensitiven Organismen, die mit vertretbarem Aufwand routinemässig durchgeführt werden könnten. ○ ○ ○

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

Kontakt:

Dr. Inge Werner, [inge.werner@oekotoxzentrum.ch](mailto:inge.werner@oekotoxzentrum.ch)

Dr. Cornelia Kienle, [cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch](mailto:cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch)

# Das Grundwasser lebt

**Mit der an der Eawag weiterentwickelten Durchflusszytometrie können Forschende erstmals nachweisen, wie viel mikrobiologisches Leben im Grundwasser tatsächlich existiert. Die neue Methode liefert bedeutend realistischere Ergebnisse als bestehende Verfahren zur Wasseranalyse und könnte diese in Zukunft ersetzen.**

«Lange hatte man angenommen, dass gutes Grundwasser praktisch «steril» sei», sagt Thomas Egli, Leiter der Forschungsabteilung Umweltmikrobiologie der Eawag. Unter anderem mit der von ihm und seinen Mitarbeitern weiterentwickelten Methode der Durchflusszytometrie konnte er erstmals nachweisen, dass diese Annahme gänzlich falsch ist und dass die Schweizer Grundwässer voller mikrobiologischen Lebens sind.

## Genauer und schneller

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt analysierte Stefan Kötzsch zusammen mit Thomas Egli im Rahmen des Projektes «Mikrobiologischer Zustand des Schweizer Grundwassers» Grundwasserproben von 50 Messstellen des nationalen Grundwasser-Beobachtungsnetzwerks (Naqua). «Mit unserer Methode konnten wir in den Wasserproben rund 1000 bis 1 000 000 Mikroorganismen pro Milliliter nachweisen», sagt Kötzsch.

Die Durchflusszytometrie lieferte damit wesentlich realistischere Ergebnisse als die für die Beurteilung der mikrobiologischen Qualität und Hygiene des Wassers gesetzlich vorgeschriebene Plattierungsmethode. Mit dieser lassen sich lediglich jene Bakterienzellen nachweisen, die auf dem Nährmedium Agar-Agar wachsen. «Mittels Plattierung konnte man bislang nur gerade 0,1 bis 1 Prozent aller in einer natürlichen Wasserprobe vorhandenen Mikroorganismen nachweisen», erklärt Egli. Ein weiterer Vorteil der Durchflusszytometrie ist der deutlich geringere Zeitaufwand. Während die Plattierung je nach Analyse mehrere Tage bis Wochen beansprucht, liegen hier die Resultate bereits nach einer Viertelstunde vor.

Die Medizin wendet die Durchflusszytometrie bereits seit über 20 Jahren zum Zählen von Blutzellen an. Weil Bakterien sehr viel kleiner und damit schwieriger zu handhaben sind als menschliche Zellen, kam das Verfahren in der Mikrobiologie bisher nicht zum Einsatz. Technisch verbesserte und preiswertere Geräte finden allerdings



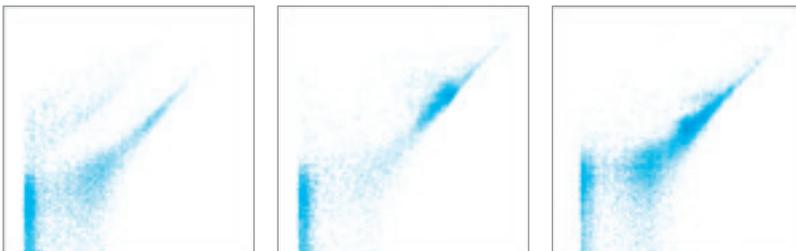
Der Eawag-Techniker Hans-Ueli Weilenmann am Durchflusszytometer.

vermehrt Eingang in die mikrobiologische Überwachung biotechnologischer Prozesse und in die Lebensmittelindustrie.

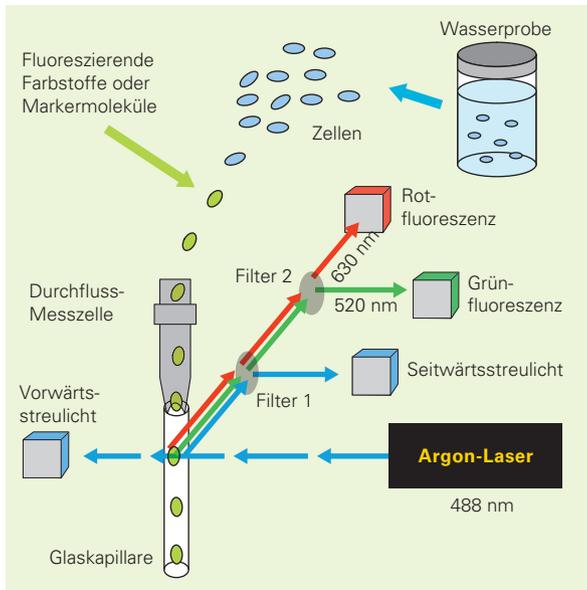
## Mehr aktive Zellen als angenommen

Vom Prinzip her ist die Durchflusszytometrie eine relativ einfache Technik: Man schleust die Mikroorganismen einzeln durch eine Glaskapillare, die von einem Laserstrahl durchdrungen wird. Trifft der Lichtstrahl auf eine Zelle, wird ein Teil der Strahlung abgelenkt und über Linsen, Spiegel und optische Filter auf einen Lichtdetektor umgeleitet. So lassen sich bis zu 1000 Partikel pro Sekunde zählen. Die Zellen können zusätzlich mit fluoreszierenden Farbstoffen eingefärbt werden, die sich an das Erbgut, an Eiweisse oder bestimmte Strukturen der Zelloberfläche anlagern.

Auf diese Weise können die Umweltmikrobiologen lebende (grün angefärbte) von toten oder inaktiven Mikroorganismen (rot angefärbt) unterscheiden. «Unsere Untersuchungen zeigen, dass im Grundwasser unabhängig von Standort und Zeitpunkt der Probenahme durchwegs rund



Mikrobiologische Fingerabdrücke: Die grafische Darstellung der Durchflusszytometrie-Daten ergibt für verschiedene Wassertypen charakteristische Punktmuster. Im Bild Grundwasser (links), Trinkwasser (Mitte), Flusswasser (rechts).



Funktionsprinzip der Durchflusszytometrie.

90 Prozent der Zellen aktiv und lebensfähig sind», sagt Köttsch. Das ist ein deutlich grösserer Anteil, als bisherige Methoden nachweisen.

Die Eawag-Forscher konnten nicht nur zeigen, dass die Schweizer Grundwässer erheblich mehr mikrobielles Leben aufweisen als bisher angenommen, sie konnten mit weiteren Verfahren auch deren gute Qualität bestätigen.

«Die Durchflusszytometrie offenbart ausserdem, dass sich Grund-, Quell-, Trinkwasser und Wasser aus Bächen, Flüssen oder Seen hinsichtlich Mikroorganismen deutlich voneinander unterscheiden und durch eine Art mikrobiologischen Fingerabdruck charakterisiert werden können», sagt Egli. Auch zeitliche Veränderungen seien mit der Methode leicht erfassbar. Zum Beispiel variierte in einigen der analysierten Grundwässer die Anzahl der Mikroorganismen im Jahresverlauf und war während des Herbstes geringer als im Frühjahr. «Ebenso kann man den Einfluss von Regenperioden oder Hochwasserereignissen auf das Grundwasser rasch und detailliert analysieren», erklärt Köttsch.

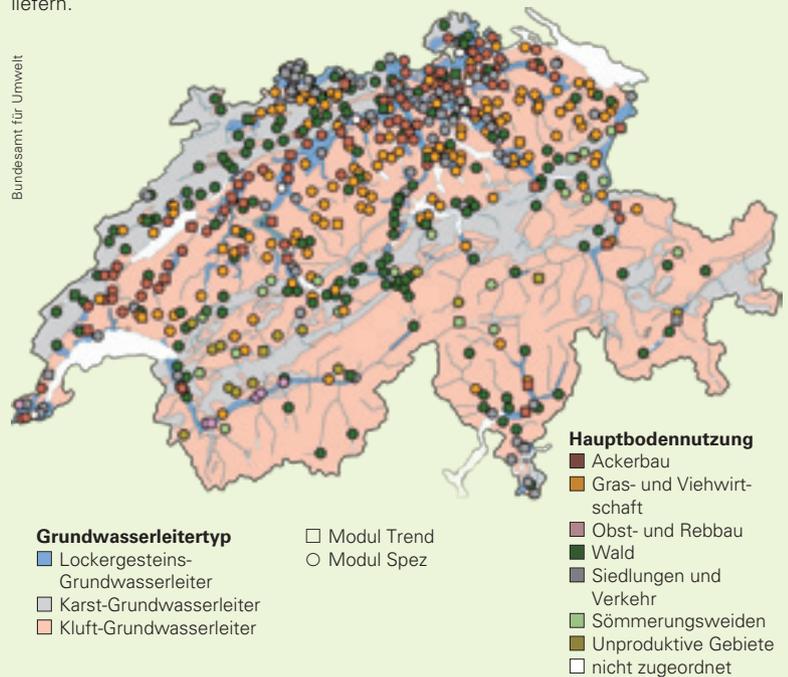
### In Zürich bereits im Einsatz

Da Grundwasser in der Schweiz die mit Abstand wichtigste Ressource für Trinkwasser darstellt, ist neben der Kontrolle von Letzterem auch eine Qualitätsüberwachung des Ersteren durch kantonale Stellen und den Bund vorgeschrieben. «Mit der Durchflusszytometrie steht jetzt erstmals eine solide Methode zur Verfügung, mit der sich Grundwässer zuverlässig mikrobiologisch beurteilen lassen und die sich für ein effizientes Monitoring eignen würde», sagt Egli. Die Wasserversorgung Zürich, mit der zusammen der Eawag-Forscher Frederik Hammes die Durchflusszytometrie weiter entwickelt hatte, setzt das neue Verfahren neben den gesetzlich vorgeschriebenen Plattierungsmethoden bereits routinemässig zur Kontrolle des Trinkwassers ein.

### Naqua und Naduf

Das Bundesamt für Umwelt (Bafu) unterhält im Rahmen der nationalen Grundwasserbeobachtung (Naqua) in der Schweiz ein Netz von über 500 Messstellen. Das Überwachungsprogramm, an dem auch die Eawag beteiligt ist, soll den Zustand und die Entwicklung der Grundwasserressourcen verfolgen und dokumentieren. Das Naqua soll die wichtigsten Grundwasservorkommen der Schweiz charakterisieren und klassifizieren, das Auftreten problematischer Stoffe beziehungsweise unerwünschter Entwicklungen frühzeitig erkennen, notwendige Schutzmassnahmen aufzeigen und deren Wirksamkeit kontrollieren.

Daneben betreibt das Bafu gemeinsam mit der Eawag und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) das Programm «Nationale Daueruntersuchung der schweizerischen Fließgewässer» (Naduf). Ergänzend zum Naqua soll das Messnetz für die Schweizer Fließgewässer Grundlagen zur Beurteilung des gegenwärtigen Zustandes sowie mittel- und langfristiger Veränderungen liefern.



Das Naqua-Netz zur Beobachtung der Grundwasserqualität (Module Trend und Spez) umfasst insgesamt 545 Messstellen.

Für die Weiterentwicklung der Durchflusszytometrie im Bereich mikrobiologischer Wasseranalyse erhielten die Eawag-Wissenschaftler und ihre Kollegen von der Wasserversorgung Zürich 2010 zudem den Muelheim Water Award. Der internationale Wasserpreis zeichnet herausragende Projekte zur praxisorientierten Forschung und zur Implementierung innovativer Konzepte aus, die zu einer Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Situation in Europa beitragen. Träger der Auszeichnung sind die RWE Aqua GmbH in Mülheim an der Ruhr und die Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft. ○○○

[www.eawag.ch/forschung/umik](http://www.eawag.ch/forschung/umik)

Kontakt:

Prof. Thomas Egli, [thomas.egli@eawag.ch](mailto:thomas.egli@eawag.ch)

Stefan Köttsch, [stefan.koetzsch@eawag.ch](mailto:stefan.koetzsch@eawag.ch)

# Die Eawag 2010



*Starker Austausch mit Asien: eine Delegation aus China zu Besuch an der Eawag.*

Die Eawag sucht den Dialog mit der Gesellschaft in der Schweiz und im Ausland, um auf die anstehenden Probleme im Bereich Wasser aufmerksam zu machen und tragfähige Lösungen zu finden. Damit dies gelingt, braucht es motiviertes und qualifiziertes Personal mit viel eigener Initiative, eine ausgezeichnete Infrastruktur und ein produktives Klima. Der Kontakt mit der Öffentlichkeit, Chancengleichheit, die Förderung des akademischen Nachwuchses, Gebäudesanierungen und die Erneuerung der Infrastruktur prägten neben Forschung, Lehre und Beratung dementsprechend auch das Eawag-Jahr 2010.

## Eawag im Dialog Viele Besucher

Die Eawag pflegt und schätzt den Austausch mit interessierten Kreisen. Auch im Jahr 2010 gab es vielfältige Möglichkeiten für einen Dialog mit Vertretern aus der Praxis, der Politik, der Wirtschaft und mit Privatpersonen. Allein bei Besuchen an den Standorten Dübendorf und Kastanienbaum begrüßte die Eawag mehr als 1200 Personen. Das Interesse galt dabei sowohl Themen



*Grosse und kleine Besucher interessieren sich für die Arbeit der Forschenden in Kastanienbaum.*

aus der Wasserforschung als auch dem innovativen Hauptgebäude der Eawag, dem Forum Chriesbach, und der Institution als solcher.

## Starker Austausch mit Asien

Bei den internationalen Kontakten steht der tägliche wissenschaftliche Austausch der Eawag-Forschenden im Vordergrund. Daneben sind vor allem Behördenvertreter aus benachbarten europäischen Ländern und aus Asien, insbesondere aus China, an der Eawag interessiert. Fachleute aus den Bereichen Infrastrukturmanagement und Kommunalplanung suchen den Kontakt zu den Eawag-Expertinnen und -Experten. Auch der taiwanische Botschafter Fadah Hsieh von der Botschaft in Bern besuchte die Eawag im August und tauschte sich mit Eawag-Direktorin Janet Hering aus.

Im September trat Rik Eggen, Stellvertretender Direktor der Eawag, zudem an der Weltausstellung in Schanghai an einer von der ETH Zürich organisierten Tagung auf und referierte über die Herausforderungen im Bereich Wasser in boomenden Städten. Er traf bei dieser Gelegenheit auch den chinesischen Wasserminister Chen Lei.

## Verankerung im Glattal

Neben den internationalen Kontakten sind der Eawag die Beziehungen zu ihren Standortgemeinden Horw im Kanton Luzern und Dübendorf im Kanton Zürich wichtig. Sowohl in Luzern als auch in Zürich steht sie deshalb in gutem Kontakt mit den Gemeindevertreterinnen und -vertretern und unterstützt standortbezogene Projekte. So war die Eawag im Dezember 2010 Gastgeberin der Verkehrsbetriebe Glattal, die mit dem Fahrplanwechsel die neue Glattalbahn auf die Schiene gebracht hat.



*Eröffnung der Glattalbahn im Forum Chriesbach.*

Die Bahn verbindet die Eawag mit dem Flughafen Zürich und anderen Verkehrsknotenpunkten. Der Eröffnungsanlass mit über 300 Gästen aus Wirtschaft, Behörden und Politik fand im Hauptgebäude der Eawag

in Dübendorf in unmittelbarer Nähe der neuen Haltestelle statt. Am anschliessenden Fest für die Bevölkerung präsentierte sich die Eawag mit einem eigenen Stand und Wasserexperimenten für Kinder.

### Kunst aus dem Labor

Ein Austausch der besonderen Art war in 2010 jener mit der Kunst. Seit 2003 nimmt die Eawag am Projekt «Artist in Lab» teil. Dieses von der Zürcher Hochschule der Künste koordinierte Projekt ermöglicht es Kunstschaffenden aus der Schweiz und



Aniu Chen präsentiert seine Arbeiten.

China, in chinesischen oder schweizerischen Forschungsinstitutionen mit Forschenden zusammenzuarbeiten und ihre Eindrücke während des fünf Monate dauernden Austausches in künstlerischen Arbeiten umzusetzen.

In 2010 war Aniu Chen, Fotograf und Künstler aus Shenzhen, Gast in der Abteilung Aquatische Ökologie an der Eawag. Er beschäftigte sich vor allem damit, welche Bedeutung das Wasser für die Forschenden und Mitarbeitenden der Eawag hat, und machte Experimente mit Wasser unter dem Mikroskop. Seine Fotografien und Installationen wurden an der Eawag in Dübendorf, in Schanghai und in Bern ausgestellt.

### Eawag an der Ausstellung «2 Grad»

Die Eawag war in 2010 an der Ausstellung «2 Grad – das Wetter, der Mensch und das Klima» in Basel präsent. Anhand eines Modells zeigte sie eine neue Methode zur Regenmessung, die mit Hilfe von Mobilfunkantennen räumlich deutlich exaktere Messdaten liefert als die traditionelle Regenmessung mit einzelnen Regensammlern. Die bis Frühling 2011 dauernde Ausstellung auf dem Basler Dreispitzareal war sechs Monate lang eine Plattform für Diskussionen um die Themen Wetter, Mensch und Klima und hat mehr als 31 000 Menschen angezogen, darunter 650 Schulklassen.

### Auszeichnungen Erfolgreicher Forschernachwuchs

Die Forschung der Eawag hat einen exzellenten Ruf und zieht viele junge Spitzenforscherinnen und -forscher an. Für ihre herausragenden Forschungsleistungen wurden 2010 gleich mehrere ausgezeichnet: Der Berner Umweltpreis ging im März an Eawag-Forscher David Bittner und seinen Kollegen Daniel Bernet von der Universität Bern für ihre Arbeit über anormale Veränderungen bei Felchen in der Thunersee. Die Eawag-Forscherin Martine Maan hat im Juni den Dutch Zoology Prize der Königlich-Niederländischen Gesellschaft für Zoologie erhalten. Der Preis



Linda Roberts bei der Feldarbeit in Bangladesch.

zeichnet die besten Arbeiten im Bereich der integrativen Zoologie aus.

Gleich zwei junge Wissenschaftlerinnen der Eawag erhielten im November Preise für ihre Dissertationen. Linda Roberts wurde an der ETH Zürich mit dem Otto-Jaag-Gewässerschutz-Preis für ihre Dissertation über die Arsenbelastung in Reisfeldern von Bangladesch ausgezeichnet, und Natacha Pasche erhielt den Hydrobiologie-Limnologie-Preis 2010 für ihre Dissertation zum Thema «Nährstoffkreislauf und Methanproduktion im Kivusee in Afrika».

### Langjährige Forschung honoriert

Neben den Nachwuchsforscherinnen und -forschern wurden auch langjährige Eawag-Wissenschaftler mit hohen Auszeichnungen geehrt. Der frühere Eawag-Direktor Alexander Zehnder durfte im Februar 2010 das Bundesverdienstkreuz für seine Leistungen in deutschen Forschungsinstituten entgegennehmen, mit denen er in Deutschland zur Stärkung des Forschungsstandorts beigetragen hat.

Besonders erfreulich ist auch die Vergabe des international ausgeschriebenen Muelheim Water Award an die Eawag-Forscher Frederik Hammes, Thomas Egli und ihr Team, den sie gemeinsam mit der Wasserversorgung Zürich erhielten. Der mit 20 000 Franken dotierte Preis wurde ihnen für die Entwicklung einer neuen praxistauglichen Methode verliehen, mit der sich schnell Trinkwasser bewerten lässt (siehe Seite 46).

### Infrastruktur Moderne Bauten für zeitgemässe Forschung

Um die Forschung auf einem hohen Niveau zu halten, ist die Eawag auf zeitgemässe Arbeitsplätze und Infrastruktur angewiesen. 2010 konnte sie die Wiedereröffnung ihres total



Das sanierte Gebäude in Dübendorf ist kein Elfenbeinturm.

sanierten Laborgebäudes in Dübendorf feiern. Das Gebäude mit rund 3600 Quadratmetern Hauptnutzfläche wurde 1970 bezogen und nun während zweier Jahre bei Weiterführung des Betriebs umgebaut.

Die Sanierung war auch energietisch ein Erfolg: Durch die erhöhte Wärmerückgewinnung und weitere Massnahmen liess sich der Verbrauch an fossiler Energie nahezu halbieren.

Am Standort Kastanienbaum eröffnete die Eawag als Ersatz für die alten Bürocontainer zudem ein neues Gebäude. Der Holzbau ist nach dem Minergie-P-Standard gebaut. Den Innenausbau und die Möblierung haben die Mitarbeitenden massgeblich mitbestimmt.

## Neues Risikomanagement

In 2010 strukturierte die Eawag ihr Risikomanagement neu und setzte einen Risk-Manager ein. Er steht dem Risikoausschuss vor, der aus je zwei Sicherheitsbeauftragten für die fünf Bereiche Brand- und Gebäudeschutz, Chemiesicherheit, IT-Sicherheit, Biologiesicherheit und Strahlensicherheit besteht. Zum Risikoausschuss gehören ausserdem die drei Beauftragten für das interne Kontrollsystem. Die Risiken der Eawag wurden zudem in 2010 neu bewertet und entsprechende Massnahmen zur Vermeidung der Risiken umgesetzt. Ein jährlicher Risikoreport gibt Auskunft über die relevanten Vorkommnisse im Bereich Sicherheit.

## Fusion der Forschungsbibliotheken

Der neue Leiter der Eawag-Bibliothek, Lothar Nunnenmacher, hat in 2010 die Fusion der Bibliotheken der vier Forschungsanstalten Eawag, Empa, PSI und WSL vorbereitet und deren Zusammenarbeit stark intensiviert. Die neue gemeinsame Bibliothek trägt den Namen Lib4RI (Library for the Research Institutes within the ETH domain: Eawag, Empa, PSI and WSL). Sie wurde nach einer kurzen Planungsphase von nur wenigen Monaten bereits im Januar 2011 eröffnet. Die Bibliothek Lib4RI ist organisatorisch und administrativ der Eawag zugeordnet und hat innerhalb der Eawag den Status einer Abteilung.

Lib4RI ist dem von der ETH-Bibliothek betriebenen Ausleihverbund Nebis angeschlossen, was die nachhaltige Zusammenarbeit im ETH-Bereich gewährleistet. Zusätzlich zum physischen Bestand, der an den bisherigen Standorten weiter zur Verfügung steht, entsteht neu eine verbesserte, zeitgemässe elektronische Bibliothek, weil ein orts- und zeitunabhängiger Zugriff auf die Bibliotheksangebote für die vier Forschungsinstitute mit insgesamt elf Standorten in der ganzen Schweiz von besonderer Bedeutung ist.



Die Bibliotheken von Eawag, Empa, PSI und WSL haben fusioniert.

## Umweltmanagement Mit dem Velo zur Eawag

Bereits zweimal zeichnete der Dachverband für die Interessen der Velofahrenden, Pro Velo Schweiz, die Eawag als besonders velofreundlichen Betrieb aus. Auch 2010 hat sich die Eawag dafür eingesetzt, dass ihre Mitarbeitenden vermehrt das Velo für den Arbeitsweg benutzen. Seit Anfang Mai steht den Mitarbeitenden der Eawag und Empa am Bahnhof Stettbach an der Zürcher Stadtgrenze eine neue separate Veloabstellanlage zur Verfügung. Die neue Anlage ist in bester Lage und sehr gut ausgerüstet: 100 Veloständer, gute Beleuchtung, Abstellplatz für Anhänger. Das sichere Einstellen der Fahrräder ist für die Mitarbeitenden der beiden Institutionen kostenlos.

Die Eawag deckt die Kosten für den Investitionsbeitrag, die Miete und den Unterhalt durch CO<sub>2</sub>-Kompensationsgebühren aus betrieb-



Der abschliessbare Velounterstand am Bahnhof Stettbach.

Weitere Informationen zum Ressourcen- und Umweltmanagement der Eawag und zu Projekten des Umweltteams finden Sie unter [www.umwelt.eawag.ch](http://www.umwelt.eawag.ch)

lichen Flugreisen. Es ist dies die erste Veloabstellanlage an Schweizer Bahnhöfen, die ausschliesslich für Mitarbeitende bestimmter Institutionen zugänglich ist. Die Kooperation von Eawag, Empa und IG Velo mit der Stadt Dübendorf und den Verkehrsbetrieben Glattal war erfolgreich.

Seit Ende Oktober besteht zudem ein neuer Rad- und Fussweg zwischen dem Eawag-Hauptgebäude und dem Bahnhof Stettbach, der zu mehr Sicherheit und einem erheblichen Zeitgewinn für Fussgänger und Velofahrerinnen führt. Der Kanton Zürich baute diesen Wegabschnitt auf Initiative der Eawag. Parallel dazu wurde mit Geldern aus dem EWZ-Ökostromfonds der Chriesbach im Abschnitt entlang des neuen Wegs revitalisiert.

## Chancengleichheit

### Mehr Frauen in der Forschung

Für das Komitee für Gleichberechtigung und Chancengleichheit der Eawag stand in 2010 die Unterstützung der Karriere von Wissenschaftlerinnen im Fokus. Die Eawag hat ein Mentoring-Projekt für Postdoktoran-



Ein Mentoring-Programm unterstützt junge Wissenschaftlerinnen bei der Karriereplanung.

dinnen gestartet, das am Institut beschäftigte Wissenschaftlerinnen bei der Karriereplanung unterstützt und dazu beitragen soll, dass der Frauenanteil in der Forschung zunimmt.

Zusätzlich wurde in Zusammenarbeit mit den anderen Instituten im ETH-Bereich die Initiative «Fix the leaky pipeline» weitergeführt, die das gleiche Ziel verfolgt.

### Mehr Frauen in der Führung

Der Anteil von Frauen in Führungspositionen ist an der Eawag hoch. Um ihn noch weiter auszubauen, werden speziell für die Besetzung von Fakultäts- und Tenure-Track-Stellen talentierte Kandidatinnen nicht nur identifiziert, sondern auch ermuntert, sich zu bewerben. Jede Berufungskommission für Fakultäts- und Tenure-Track-Stellen muss sich dabei an spezifische «Guidelines for Search Committees: Increasing Diversity» halten. Ausserdem unterstützt die Eawag zusammen mit der Empa die gemeinsame Kinderkrippe.

### Respekt für Sprache fördern

Nicht nur die Verteilung der Führungspositionen, auch das Verständnis und die Wertschätzung für die unterschiedlichen Kulturen der Mitarbeitenden sind für eine international geprägte Institution wie die Eawag wichtig. In 2010 hat daher ein Team aus dem Komitee für Gleichberechtigung und Chancengleichheit aufgrund einer Befragung an der Eawag Empfehlungen zum Umgang mit Sprachen und Sprachbarrieren erarbeitet. So schlägt dieses vor, bei Anlässen schon bei der Ankündigung darüber zu informieren, in welcher Sprache diese stattfinden, oder plädiert bei Vorträgen für Mischformen (zum Beispiel den Vortrag in Deutsch zu halten, während die Folien in Englisch sind).

Daneben engagierte sich die Eawag auch für die Integration erkrankter oder behinderter Mitarbei-

terinnen und Mitarbeiter und konnte individuelle Lösungen erarbeiten, um betroffene Personen im Arbeitsprozess zu integrieren.

## Personelles

### Eintritte und neue Professuren

Der ETH-Rat hat im Berichtsjahr vier Forschende der Eawag zu Professorinnen gewählt. Janet Hering, Direktorin der Eawag, und Urs von Gunten erhielten eine ordentliche Professur an der ETH Lausanne (EPFL). Ebenso wurden die Umweltchemikerin Juliane Hollender an der ETH Zürich und die Umwelttoxikologin Kristin Schirmer an der EPFL zu Titularprofessorinnen gewählt.

Auch weitere wichtige Positionen konnten mit versierten Fachkräften neu besetzt werden. So hat im April Lothar Nunnenmacher die Leitung der Bibliothek der Eawag und der Empa übernommen. Er bringt einen reichen Erfahrungsschatz aus der Bibliothek der ETH Zürich mit und hat erfolgreich die bereits geplante Fusion der Bibliotheken aller Forschungsanstalten im ETH-Bereich umgesetzt.

Im September 2010 hat Inge Werner ihre Stelle als neue Leiterin des Oekotoxizentrums angetreten. Zuvor leitete sie an der University of California in Davis, USA, das Aquatic Toxicology Laboratory (ATL) und engagierte sich als Adjunct-Professorin in der Lehre. Das ATL ist ein staatlich zertifiziertes Labor, das die Gewässerqualität und die Gesundheit der aquatischen Ökosysteme in ganz Kalifornien untersucht. Dort hat die promovierte Zoologin zusammen mit staatlichen und lokalen Behörden zahlreiche angewandte Projekte in der aquatischen Ökotoxikologie durchgeführt.

Seit Januar 2010 ist Jukka Jokela Mitglied der Direktion der Eawag.

Jokela ist finnischer Staatsbürger und seit 1996 als Wissenschaftler im Bereich Gewässerökologie an der ETH Zürich tätig. Seit dem Jahr 2005 ist er ordentlicher Professor an der ETH Zürich. Von 2005 bis 2009 leitete er ausserdem die Abteilung Aquatische Ökologie.

## Stabiler Personalbestand

Der Personalbestand hat im Vergleich zum Vorjahr, vor allem im wissenschaftlichen und technischen Bereich im längerfristig geplanten Rahmen zugenommen. Insgesamt erhöhte sich die Zahl der Mitarbeitenden um 24 Personen (plus 5,6 Prozent). Die Zunahme von Mitarbeitenden im wissenschaftlichen Bereich verteilt sich etwa hälftig zwischen Männern und Frauen. Im technischen und administrativen Bereich überwiegt die Zunahme von männlichen Personen. Im Kaderbereich liegt der Anteil von weiblichen Führungskräften weiterhin bei hohen 23 Prozent, mit einem Anstieg insbesondere in den hohen Funktionsstufen.

Nach wie vor engagiert sich die Eawag in der Ausbildung von Lernenden. Sie bietet 26 Ausbildungsplätze in der kaufmännischen Ausbildung, Informatik und im Labor an (siehe Seite 34).

## Integrität in der Forschung

Auf wissenschaftlicher Integrität gründen der Ruf eines Forschenden und jener einer Forschungsinstitution. Deshalb engagierten sich die vier Forschungsanstalten des ETH-Bereichs (Eawag, Empa, PSI, WSL) im Jahr 2010 gemeinsam für die Integrität in der Forschung in ihren Instituten. Sie führten entsprechende Richtlinien für eine gute wissenschaftliche Praxis ein und informierten ihre Mitarbeitenden in einer gemeinsamen Veranstaltung darüber. Demnach müssen beispielsweise wissenschaftliche Ergebnisse für andere reproduzierbar sein und Versuchsanordnungen nachvollzogen werden können. Erfinden und Diebstahl von Primärdaten oder Plagiate sind ebenso unzulässig wie die Veröffentlichung derselben Inhalte in verschiedenen wissenschaftlichen Medien oder das Aufteilen in mehrere unvollständige Teilpublikationen zwecks Erhöhung der Anzahl veröffentlichter Artikel. Jede an einem Forschungsprojekt beteiligte Person soll zudem für den Teil der Arbeit die Verantwortung übernehmen, die sie direkt beeinflussen kann. Die Gesamtverantwortung für den Inhalt einer Publikation liegt beim korres-



*Integrität: Die Eawag führte Richtlinien für die gute wissenschaftliche Praxis ein.*

pondierenden Autor. Bei Problemen rund um das Thema Integrität können sich Mitarbeitende an spezielle Ombudspersonen wenden.

## Beratende Kommission im Wandel

Die Beratende Kommission der Eawag hat einen hohen Stellenwert für die Forschungsanstalt. Sie deckt die wichtigsten Akteure im Bereich Wasser in der Schweiz ab und berät die Direktion bei wichtigen strategischen Entscheidungen. In 2010 kam es zu verschiedenen Wechseln in diesem Gremium. Als wichtige Vertreter des Bundes und der Kantone haben Stephan R. Müller, Abteilungsleiter Wasser beim Bundesamt für Umwelt, und Heinz Habegger, Vorsteher des Amtes für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Einsitz in die Beratende Kommission genommen. Als Vertreter der Industrie sind neu Claus Conzelmann, Leiter Safety, Health and Environment Sustainability der Nestlé Suisse SA, und Reto Schneider, Leiter Emerging Risk Management der Swiss Re, Zürich, dabei. Die Beratende Kommission wird seit Mai 2010 von Ursula Brunner, Rechtsanwältin bei Ettler Suter Rechtsanwälte, Zürich, präsidiert. Sie folgt auf den bisherigen Präsidenten André Bachmann, Direktor der BMG Engineering, Schlieren. ○○○

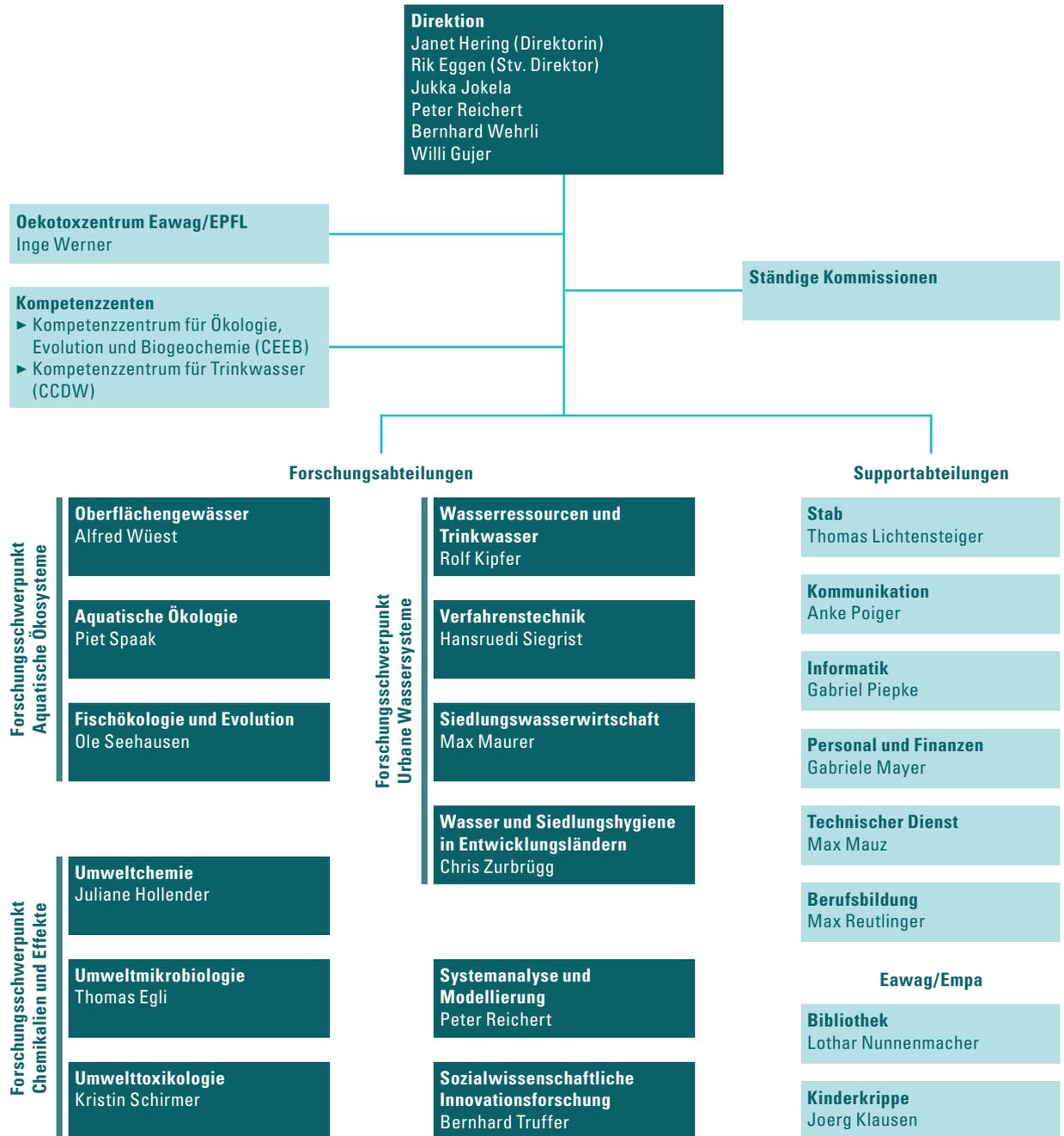


*Ursula Brunner ist neue Präsidentin der Beratenden Kommission.*



*Die Eawag-Belegschaft besteht zu 48 Prozent aus Frauen.*

# Organisation



## Beratende Kommission

**Ursula Brunner** (Präsidentin seit Mai 2010), Rechtsanwältin, Ettler Suter Rechtsanwälte, Zürich

**André Bachmann** (Präsident bis Mai 2010), Direktor BMG Engineering, Schlieren

**Peter Arbenz**, Präsident Helvetas

**Claus Conzelmann** (Vizepräsident, seit Mai 2010), Leiter Safety, Health and Environmental Sustainability, Nestlé Suisse SA

**Erika Forster-Vannini** (bis Dezember 2010), Ständerätin, St. Gallen

**Günter Fritz**, Leiter Umwelt, Gesundheit und Sicherheit, BASF Schweiz AG

**Urs Gantner**, Leiter Fachbereich Forschung und Beratung, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern

**Heinz Habegger** (seit Mai 2010), Vorsteher Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern

**Jürg Meyer**, Direktor Infrastruktur-Services, ISS Schweiz AG, Zürich

**Stephan R. Müller** (seit November 2010), Abteilungsleiter Wasser, Bundesamt für Umwelt, Bern

**Reto Schneider** (seit Mai 2010), Leiter Emerging Risk Management, Swiss Re, Zürich

# Personen

Personal	Personen insgesamt	Frauen	Ausländer/innen	Vollzeit-äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren <sup>1</sup>	9	1	3	9
Assistenz- und Titularprofessorinnen und -professoren	15	3	5	14
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	161	58	82	149
Doktorandinnen und Doktoranden	97	52	62	97
Technisches Personal	90	43	12	75
Administratives Personal	60	50	11	43
Lernende	26	11	4	26
<b>Total</b>	<b>458</b>	<b>218</b>	<b>179</b>	<b>413</b>
Mitarbeitende Eawag-Empa-Kinderkrippe	19	18	2	17
Praktikantinnen und Praktikanten <sup>2</sup>	38	20	26	38

<sup>1</sup> 8 davon sind nicht oder nicht direkt von der Eawag angestellt

<sup>2</sup> Unterschiedlich lange Anstellungsdauern, Anzahl insgesamt in 2010

Altersstruktur	Frauen		Männer	Total	Frauen		Männer	
	Anzahl	Anteil			Anzahl	Anteil		
60–65	7	27%	19	26	27	27%	19	
50–59	35	50%	35	70	35	50%	35	
40–49	45	54%	38	83	45	54%	38	
30–39	53	39%	82	135	53	39%	82	
20–29	65	60%	44	109	65	60%	44	
15–19	13	48%	14	27	13	48%	14	
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>(48,4 %)</b>	<b>232</b>	<b>450</b>				

Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49 %	13	8	21
50–79 %	39	7	46
80–99 %	38	24	62
100 %	128	193	321
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>232</b>	<b>450</b>

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	130	143	273
EU-Länder	68	71	139
Übriges Ausland	20	18	38
<b>Total</b>	<b>218</b>	<b>232</b>	<b>450</b>

Lernende	Frauen	Männer	Total
Biologielaborant/in	1	2	3
Chemielaborant/in	8	10	18
Informatiker/in	0	2	38
Kauffrau/Kaufmann	2	1	3
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>15</b>	<b>26</b>

# Aktivitäten

	2008	2009	2010
Betreute Dissertationen	119	111	153
Betreute Bachelor- und Masterarbeiten	97	109	142
Publikationen in referierten Zeitschriften	253	232	259
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	55	114	72
Spin-offs	1	–	–
Patente, Lizenzverträge	–	–	–
Dienstleistungsaufträge	31	24	35
Preise	12	19	26
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	81	82	95
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	52	41	24
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	2	6	0
Peak-Kurse (Weiterbildung)	4	5	6
Fachtagungen	39	53	54
Mitarbeit in Kommissionen	178	184	190

Detailliertere Angaben unter [www.eawag.ch/jahresbericht](http://www.eawag.ch/jahresbericht)

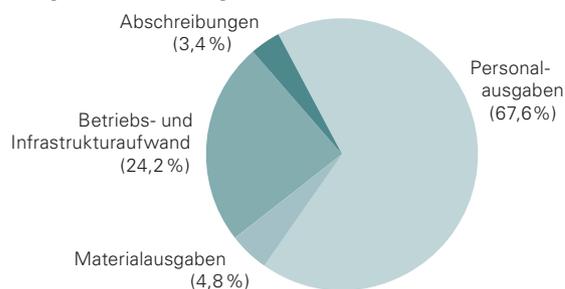
# Finanzen

Erfolgsrechnung	2008	2009	2010
Personal	39 498 230	39 278 708	41 923 339
Material	3 693 473	11 426 136	2 990 640
Betriebs- und Infrastrukturaufwand	13 049 526	14 011 009	14 920 290
Abschreibungen	1 315 815	1 896 647	2 109 090
Rückstellungen	5 780 247	1 001 944	-210 058
<b>Aufwand</b>	<b>63 337 291</b>	<b>67 614 444</b>	<b>61 733 302</b>
Bundesbeitrag	54 429 850	47 596 574	54 239 254
Drittmittel (inkl. Bestandesveränderungen)	11 237 615	11 068 789	14 246 016
Diverse Erlöse	935 584	1 238 918	1 717 018
<b>Ertrag</b>	<b>66 603 049</b>	<b>59 904 281</b>	<b>70 202 289</b>
<b>Ergebnis</b>	<b>3 265 758</b>	<b>-7 710 163</b>	<b>8 468 987</b>

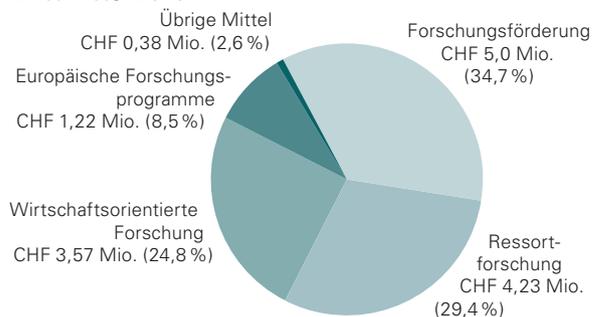
Investitionen	15 823 645	3 849 680	6 774 457
Immobilien	13 890 051	1 484 507	3 713 999
Mobilien	1 663 563	2 047 665	3 006 300
Informatik	270 031	317 508	54 158

alle Zahlen in CHF

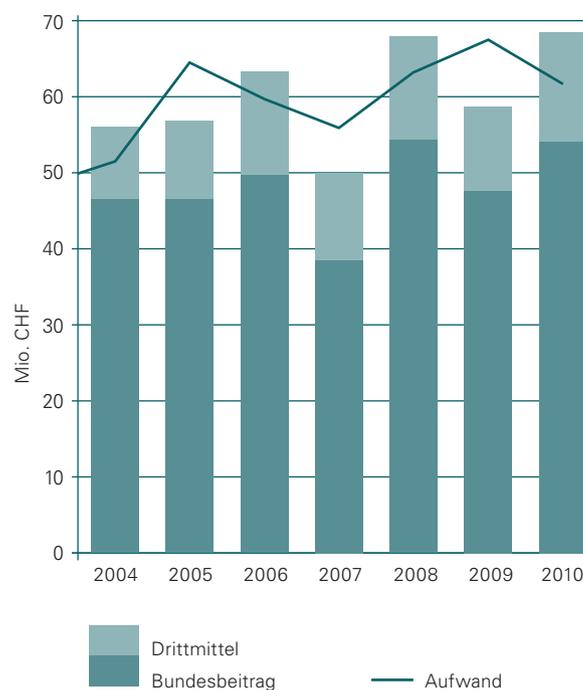
## Ausgabenverteilung 2010



## Drittmittel 2010



## Entwicklung 2004–2010



Der Jahresbericht 2010 zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus Forschung, Lehre und Beratung an der Eawag. Unter [www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html](http://www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html) finden Sie alle Eawag-Publikationen samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel. Darin enthaltene «open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden.  
Bei Problemen: [info@lib4ri.ch](mailto:info@lib4ri.ch)

Der Jahresbericht ist auch in Englisch erhältlich.

#### Impressum

Konzept:  
Andri Bryner, Andres Jordi

Redaktion:  
Andres Jordi

Mitarbeit:  
Andri Bryner, Samuel Derrer, Jean-Martin Fierz, Herbert Güttinger,  
Kirstin Kopp, Thomas Lichtensteiger, Anke Poiger, Annette Ryser,  
Anke Schäfer, Monika Tobler, Sören Vogel, Lenny Winkel

Bilder:  
Alle nicht gezeichneten Bilder sind von der Eawag.

Gestaltung:  
TBS Identity, Zürich  
Layout: SLS Nadler, Fällanden  
Druck: Mattenbach AG, Winterthur  
Copyright: Eawag, April 2011

Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:  
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2010»

Belegexemplare an:  
Eawag, Kommunikation, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz

Eawag, Überlandstrasse 133, Postfach 611, 8600 Dübendorf  
Telefon +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28

Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum  
Telefon +41 (0)58 765 21 11, Fax +41 (0)58 765 21 68

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



Eawag  
Überlandstrasse 133  
Postfach 611  
8600 Dübendorf  
Telefon +41 (0)58 765 55 11  
Fax +41 (0)58 765 50 28  
[www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)  
[info@eawag.ch](mailto:info@eawag.ch)

