

# Jahresbericht 2008





Die Eawag ist das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Zu diesem gehören neben den beiden Hochschulen ETH Zürich und EPF Lausanne 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 gut 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig in Forschung, Lehre und Beratung.

Umschlag  
Die Forscherinnen Kirsten Klappert, Caroline Baumgartner und Irene Keller der Abteilung Gewässerökologie entnehmen Proben für die Untersuchung von Bachflohkrebsen (Gammarus).  
Bild: Günter Bolzern, Bülach

# Inhalt

- 2 Wort der Direktorin Prof. Dr. Janet Hering
- 4 Ökotoxzentrum nimmt Betrieb auf
- 6 Eawag Forum Chriesbach: Nachhaltig bauen zahlt sich aus

## 8–19 **Urbane Wassersysteme**



- 11 Membranfilter für sauberes Trinkwasser
- 14 Biogas gegen das Abfallproblem
- 15 Umweltgerecht heizen mit Abwasser
- 16 Den Cholerabakterien auf der Spur
- 17 Eawag-Beratung spart Millionen
- 18 Fotobericht: Fische mögen Kupfer nicht

## 20–33 **Aquatische Ökosysteme**



- 23 Der Mensch beeinflusst Werden und Vergehen von Arten
- 26 Viele Nischen schaffen Platz für viele Arten
- 28 Dreistachliger Stichling: Erfolgreiche Invasion der Schweiz
- 29 Schwall und Sunk machen Fischen Schwierigkeiten
- 30 Die letzten Geheimnisse vom Seegrund
- 31 Modul-Stufen-Konzept: Planen, was den Bächen am meisten bringt
- 32 Fotobericht: Seeforellen mit Peilsendern nachgespürt

## 34–47 **Chemikalien und Effekte**



- 37 Chemikalien mit hormonellen Nebenwirkungen
- 40 Nonylphenole – der Mix machts
- 41 Silbernanopartikel wirken toxisch
- 42 Weniger Herbizide aus Bitumenbahnen
- 43 Rheinüberwachung: Der Kamm wird breiter und feiner gezähnt
- 44 Arsen: Risiko erkennen, Problem bewältigen
- 46 Fotobericht: Giftschlamm im Wasserreservoir Zürichsee

## 49–60 **Die Eawag 2008**

- 54 Ueli Bundi: Dank an den Brückenbauer
- 55 Chancengleichheit und Genderfragen
- 55 Naturlabor vor der Tür
- 56 Organigramm und Beratende Kommission
- 58 Finanzen
- 59 Personen
- 60 Aktivitäten

# Herausforderungen annehmen und Brücken schlagen



**Ein verantwortungsvoller Umgang mit Wasser erfordert eine ganzheitliche Sicht. Diese muss Qualität und Menge der Wasservorräte ebenso einschliessen wie die Wasserversorgung und die aquatischen Ökosysteme. Das ist eine grosse Herausforderung und sie betrifft zudem auch Fragen in Zusammenhang der Versorgung mit Energie und sicheren Nahrungsmitteln. Mit Fachkompetenz in Ingenieur-, Natur- und Sozialwissenschaften sowie vielfältigen Aktivitäten in Forschung, Lehre und Beratung nehmen wir an der Eawag diese Herausforderungen an.**

Die Welt hat 2008 eine ganze Reihe Krisen erlebt. Anzahl, Ausmass und Breite dieser Krisen machen deutlich, dass sie nicht unabhängig sind voneinander. Sie können nicht mehr länger isoliert oder von Land zu Land gelöst werden. Vielmehr müssen die verschiedenen Aspekte einer globalen Stabilität – dazu gehören die Versorgung mit Energie, Nahrung und Wasser ebenso wie eine intakte Wirtschaft, die öffentliche Gesundheit oder der Schutz vor Naturgefahren – ganzheitlich betrachtet werden. Nur so führt die Lösung des einen Problems nicht zu neuen Problemen oder verschärft bestehende.

## Forschen mit einer ganzheitlichen Sicht

An der Eawag setzen wir uns mit entscheidenden Wasserfragen auseinander, und zwar exakt mit der erwähnten ganzheitlichen Sicht. Gleichzeitig verknüpfen wir diese Wasserfragen mit anderen Aspekten, die für eine globale Stabilität von Bedeutung sind. So ist das Zusammenspiel

zwischen Wasser und Energieversorgung in mehreren Projekten offensichtlich – etwa in den Untersuchungen zur Biogasproduktion in Entwicklungsländern (S. 14), zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser (S. 15) oder zu den ökologischen Folgen der Wasserkraftnutzung (S. 29).

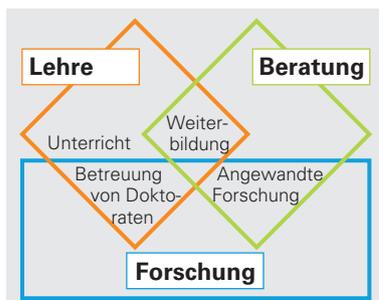
Die Auswirkungen der Wasserqualität auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt sind Hintergrund für einen

wesentlichen weiteren Bereich der Eawag-Forschung. So entwickeln wir speziell für Entwicklungsländer Methoden zur raschen Bestimmung von krankheitserregenden Mikroorganismen (S. 16) oder für die Kartierung von Gebieten,

in denen ein erhöhtes Risiko durch geogene Schadstoffe wie Arsen oder Fluorid besteht (S. 44). In Industriestaaten stehen andere Fragen im Fokus: Eawag-Forscherinnen und -Forscher haben wegweisende Beiträge geleistet zu hormonaktiven Substanzen in den Gewässern (S. 36). Besonderes Augenmerk richten wir auf neu auftauchende Stoffe, ihr Verhalten und ihre Effekte in der Umwelt – zum Beispiel Nanomaterialien (S. 41). Diese Forschungsarbeiten unterstützen auch das neue Zentrum für angewandte Ökotoxikologie an der Eawag und an der ETH Lausanne.

## Austausch zwischen Theorie und Praxis

Die Eawag erforscht aktuelle und herausfordernde wissenschaftliche Fragen, die im Zusammenhang stehen mit wichtigen gesellschaftlichen Problemen. So verknüpft ein Projekt die genetische Vielfalt unter den Fischen mit deren Anpassung an Umwelteinflüsse. Es legt damit eine wissenschaftliche Basis für Massnahmen zum Erhalt der Biodiversität (S. 22). Mit Projekten wie «Wave21» (Wasserversorgung im 21. Jahrhundert) setzen wir unser Ziel um, zwischen Theorie und Praxis Brücken zu schlagen. Das Vorhaben bringt Forschende zusammen mit Praxisvertretern aus Privatwirtschaft, Fachorganisationen



und Verwaltung, um gemeinsam verbesserte Systeme zu entwickeln für die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung (S. 10). So unterstützen sich Forschung und Praxis erfolgreich gegenseitig.

Der Eawag-Auftrag in der Wasserforschung und -technologie steht auf drei Säulen: Forschung, Lehre und Beratung. In der Forschung betreiben wir Grundlagenforschung, die immer wieder zu elementaren Fortschritten in der Theorie führt, und angewandte Forschung, die sich stärker an den Bedürfnissen der Gesellschaft orientiert und Innovationen in die Praxis bringt. Die ETH in Zürich und in Lausanne sowie die Universitäten und Fachhochschulen unterstützen wir mit Lehrveranstaltungen und durch die Betreuung von Studentinnen und Studenten. Beratung bedeutet Unterstützung für Partner aus der Praxis – aus dem privaten und dem öffentlichen Sektor. Das umfasst die gemeinsame Suche nach Problemlösungen, aber auch praxisbezogene Weiterbildungskurse oder die Mitarbeit in Fachkommissionen und beratenden Gremien.

## **Wasserprobleme können heute nicht mehr isoliert oder von Land zu Land gelöst werden.**

### **Balanceakt als Chance**

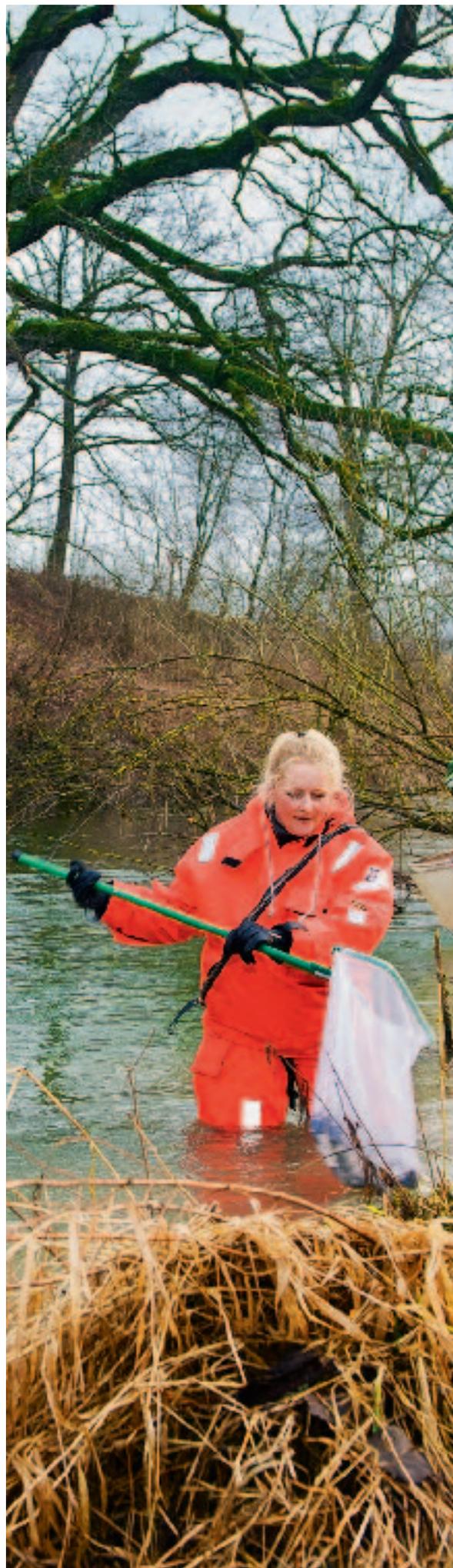
Die Ausgewogenheit zwischen diesen drei Säulen – Forschung, Lehre, Beratung – aufrechtzuhalten, ist eine dauernde Herausforderung. Die Eawag muss dabei auf neue Bedürfnisse genauso reagieren wie auf neue Chancen. Natürlich ist nicht jede Forscherin und jeder Forscher in allen Bereichen aktiv. Auch nicht alle Abteilungen sind im gleichen Mass an den drei Aufgaben beteiligt. Doch für die Eawag als Ganzes muss die Ausgewogenheit erhalten bleiben. Manchmal führt dies zu Auseinandersetzungen. Doch am Ende erleben wir immer wieder, wie diese Diskussionen auch eine riesige Chance sind, um grundlegende Fortschritte aus der Forschung in die Praxis zu bringen.

### **Motivation ist spürbar**

Der Druck auf das Wasser wächst. Bevölkerungswachstum, steigender Wasserbedarf für die Lebensmittelproduktion und höhere Ansprüche der Energieversorgung sind Gründe dafür. Der Klimawandel verschärft die Situation. Die breite Fachkompetenz der Eawag-Wissenschaftler in Ingenieur-, Natur- und Sozialwissenschaften sowie ihre Erfahrung in Forschung, Lehre und Beratung bieten eine einmalige Perspektive: Dank ihr können wir Antworten beisteuern zu den so wichtigen, aber komplexen Fragen rund um einen verantwortungsvollen Umgang mit Wasser, Wasservorräten, Wasserversorgungen und aquatischen Ökosystemen. Das ist eine grosse Motivation für alle an der Eawag.



Prof. Dr. Janet Hering, Direktorin



# Ökotoxzentrum nimmt Betrieb auf

**Das neue vom Bund geforderte Zentrum für Ökotoxikologie erarbeitet Methoden, um Umweltrisiken von Chemikalien zu erfassen, zu beurteilen und zu minimieren. Es bildet eine Schnittstelle zwischen der Forschung und dem praktischen Einsatz ökotoxikologischer Bewertungsverfahren. Eine unabhängige Einrichtung dieser Art hat in der Schweiz bisher gefehlt. Ihre weiteren Schwerpunkte sind Beratung, Ausbildung und Vernetzung im Bereich der Ökotoxikologie. Angesiedelt ist das Zentrum im ETH-Bereich, getragen wird es von der Eawag und der ETH Lausanne.**

Mit einer gut besuchten Eröffnungsveranstaltung und einem Kurzsymposium zum Thema Nanopartikel in der Umwelt ist am 30. Oktober 2008 das Zentrum für angewandte Ökotoxikologie eingeweiht worden. Der Anlass bot eine Informations- und Diskussionsplattform für Vertreter aus Industrie, Forschung sowie Politik und Behörden. Für Nationalrätin Maya Graf füllt das Ökotoxzentrum eine Lücke. Das Zentrum solle *die* Quelle werden für unabhängige Expertisen, angewandte ökotoxikologische Forschung und zielgerichtete Weiterbildung zum Thema Umwelttoxikologie in der Schweiz, sagte sie in ihrer Ansprache. Graf hat 2002 mit einer Motion zur Toxikologieforschung wesentlich dazu beigetragen, dass Bundesrat und Parlament dem ETH-Bereich 2007 den Aufbau des Zentrums übertragen haben.

## Experten und Expertisen

Das Zentrum nimmt innerhalb der Schweiz eine Drehscheibenfunktion wahr und es unterstützt den Dialog über die Entwicklungen in der Ökotoxikologie. Es arbeitet eng mit universitären und behördlichen Fachstellen zusammen. Mit dem Aufbau einer Expertendatenbank kann es bei Umweltproblemen breit abgestützte Handlungsempfehlungen erarbeiten. Vertreter des Ökotoxentrums

engagieren sich in nationalen und internationalen Fachgremien, so zum Beispiel im Rahmen des OECD-Programms für Testrichtlinien oder in der EU-Fachkommission, welche für die Wasserrahmenrichtlinie Umweltstandards zur Chemikalienbewertung entwickelt. Dank einer Vertretung im Beirat der Europasektion pflegt das Ökotoxzentrum gute Kontakte zur Setac, der weltweit aktiven Vereinigung für Umwelttoxikologie und Umweltchemie.

## Angewandte Forschung

Bereits sind verschiedene angewandte Forschungsprojekte lanciert. Im Folgenden drei Beispiele:

**Multisens:** In diesem Projekt entwickelt das Ökotoxzentrum Sensoren für eine ganze Reihe von chemisch-physikalischen und biologischen Tests. Sie sollen eine integrale Bewertung der Wasserqualität eines Gewässers oder von Abwasser erlauben. Dies auf ganz verschiedenen Ebenen, vom Molekül bis zum Ökosystem. Schlüsselorganismus des in einzelne Module aufgeteilten Pakets



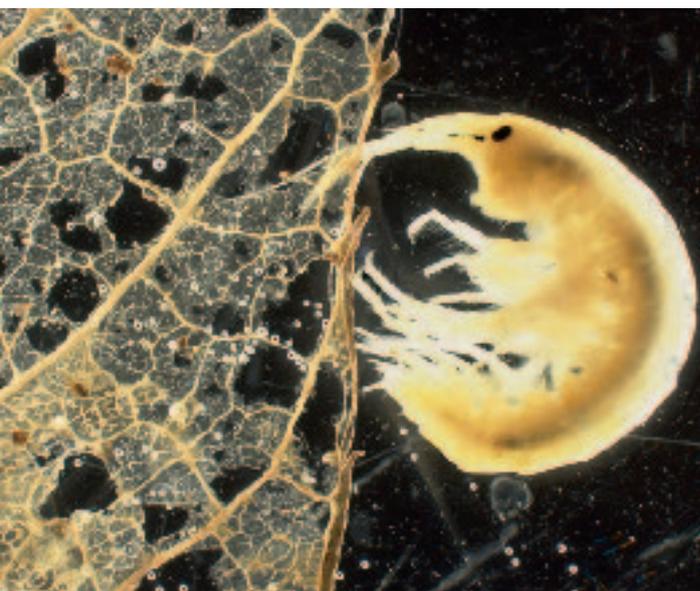
Fassadenpaneele, deren Anstrich Silbernanopartikel enthält, werden der Witterung ausgesetzt. Das abfliessende Regenwasser wird aufgefangen und mit Hilfe der Bachflohkrebse ökotoxikologisch beurteilt. Überwacht werden insbesondere Auswirkungen auf Schwimmaktivität und Atmung.



ist nicht wie bisher üblich eine Alge, sondern der Bachflohkrebs (*Gammarus spp.*). Im Modul «GamTox» wird die Toxizität von Schadstoffen und Schadstoffgemischen auf die Bachflohkrebs selbst, deren Nahrung und deren Räuber (z. B. Fische) untersucht. So können erstmals gleichzeitig verschiedene Ebenen der Nahrungskette ökotoxikologisch bewertet werden. Denn Schadstoffe, die sich auf die mikrobielle Besiedlung des Falllaubes auswirken, beeinflussen die Nahrungsqualität und die Nahrungswahl des Bachflohkrebses. Multisens wird durch verschiedene Labortests abgerundet. Dennoch können ihre Elemente überwiegend auch vor Ort, also z. B. direkt in einem Gewässer, eingesetzt werden. Für Bodenökosysteme kann das Testmodul auch mit Asseln angewendet werden.

**Nano-Silber:** Fassadenfarben enthalten als Zusatzstoffe oft antimikrobiell wirkende Biozide. Seit Kurzem wird auch Nano-Silber eingesetzt. Die Abteilung Siedlungswasserwirtschaft der Eawag hat bereits nachgewiesen, dass mit dem Niederschlag beträchtliche Stoffmengen aus den Fassaden ausgewaschen werden und in Oberflächengewässer gelangen können. In Zusammenarbeit mit Empa und Eawag untersucht das Ökotoxzentrum zurzeit in einem Berechnungsversuch von Fassadenpanelen die akute Toxizität des Witterungsablaufes auf Wasserorganismen (siehe auch S. 40).

**Regenwürmer als Testorganismen:** Am Standort Lausanne baut das Zentrum Tests auf im Bereich Bodenökotoxikologie. Als Testorganismen setzen wir hier vor allem Regenwürmer und Springschwänze ein. Besonderes Augenmerk richten wir auf die Optimierung von bestehenden OECD-Tests sowie auf die Entwicklung von unkomplizierten, feldtauglichen Schnelltests.



Die rund zwei Zentimeter grossen Bachflohkrebs ernähren sich hauptsächlich von abgestorbenem Pflanzenmaterial im Gewässer.

## Standorte in Dübendorf und Lausanne

Der Hauptsitz des Ökotoxizentrums – mit Schwerpunkt aquatische Ökotoxikologie – ist an der Eawag in Dübendorf. Der zweite Standort, mit Fokus auf der terrestrischen Ökotoxikologie, befindet sich an der ETH Lausanne. Die Geschäftsleitung besteht aus der Leiterin des Zentrums, Dr. Almut Gerhardt, sowie je einem Delegierten der Eawag-Direktion und des EPFL-Präsidiums, Prof. Rik Eggen und Prof. Christof Holliger. Neben den vom Bund finanzierten Grundleistungen (2 Mio. CHF pro Jahr) kann das Zentrum verrechenbare Aufträge annehmen, die nicht in Konkurrenz mit der Privatwirtschaft stehen. Parallel zum Ökotoxzentrum wird ab 2009 auch ein schweizerisches Zentrum für angewandte Humantoxikologie entstehen. Dessen Träger sind die Universitäten Basel und Genf.



Nationalrätin Maya Graf im Gespräch mit Christof Holliger (EPFL), Almut Gerhardt (Leitung) und Rik Eggen (Eawag) an der Eröffnung des Ökotoxizentrums.

## Weiterbildung

Das Fachwissen zur Ökotoxikologie ist heute breit gestreut und oft in sehr spezifischen Arbeiten enthalten. Das Zentrum bewertet aktuelle Informationen und fasst sie für die Praxis zusammen. Bereits erstellt wurden unabhängige Übersichten über biologische Nachweismethoden für hormonaktive Substanzen in der Umwelt sowie zur Relevanz des Bachflohkrebses in der Ökotoxikologie. Eine Übersicht zur Bedeutung von terrestrischen Isopoden (Asseln) in der Ökotoxikologie ist in Bearbeitung. Diese Übersichtsartikel dienen als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Biotestsystemen.

In der Seminarserie «Aktuelle Stunde» berichten international renommierte Spezialisten verschiedenster Forschungseinrichtungen zu aktuellen Themen. Im Rahmen des Coetox-Basiskurses – getragen von Eawag, EPFL und dem Institut Cemagref in Lyon – hat das Ökotoxzentrum im November 2008 einen Überblick gegeben über terrestrische und aquatische Biotests. Für 2009 sind zwei Workshops in Planung, der eine zum Nachweis von hormonaktiven Substanzen mit biologischen Testverfahren, der andere über ökotoxikologische Bewertungsverfahren von Schadstoffgemischen. ○ ○ ○

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

Kontakt: Dr. Almut Gerhardt, [info@oekotoxzentrum.ch](mailto:info@oekotoxzentrum.ch)

# Eawag Forum Chriesbach: Nachhaltig bauen zahlt sich aus

**Der 2006 bezogene sechsstöckige Neubau der Eawag für 220 Personen hat sich bewährt. Gut zwei Jahre nach seiner Einweihung ziehen Bauherrschaft, Planer und Architekten aufgrund einer wissenschaftlichen Analyse eine positive Bilanz, auch in Bezug auf die Kosten. Das international beachtete Haus benötigt nur rund 64 MWh extern zugeführte Wärmeenergie pro Jahr – das entspricht 6400 Litern Erdöl. Und es gilt als Vorbild für eine neue Gebäudegeneration.**

Die ersten zwei Betriebsjahre des Eawag-Neubaus in Dübendorf haben gezeigt, dass das Gebäude mit seiner aktuellen Nutzung wie vorgesehen funktioniert, obwohl es in den Arbeitsräumen weder eine aktive Heizung noch eine Kühlung gibt. Die gemessenen Temperaturen und Energieverbräuche stimmen gut mit den Planungswerten überein. Wo Abweichungen festgestellt werden, lassen sich diese durch veränderte Rahmenbedingungen erklären. Bewährt hat sich vor allem das gute Zusammenspiel von Architektur und Haustechnik, die Mitarbeit der Bauherrschaft und das Konzept, auf einfache Prinzipien abzustellen. Dazu gehören eine sehr gute Wärmedämmung, sparsame Geräte, Komfortlüftung und ein gutes Kontroll- und Steuerungssystem.

## Natürliche Kühlung im Sommer

Besonders gut schneidet der Bau ab bezüglich Kühlenergie im Sommer. Weltweit steigt nämlich der Energiebedarf für die Gebäudekühlung, ganz besonders für Bürogebäude mit grossflächig verglasten Fassaden. Im Forum Chriesbach wird dagegen statt Hightech der Kamineffekt im Atrium genutzt, um das Haus im Sommer mit Nachtluft auszukühlen. Zusammen mit der Luftzufuhr

über ein Erdregister führt dies dazu, dass der Kühlenergiebedarf für den Serverraum klein und für die Büroräume keine Klimatisierung nötig ist. Selbst in den heissesten Sommerwochen stiegen die Raumtemperaturen nicht über 26 °C. Die Mitarbeitenden schätzen das als grossen Komfort. Bestätigt wird dieses angenehme Klima auch von den CO<sub>2</sub>-Messungen der Raumluft: Mit durchschnittlich 0,6 Liter CO<sub>2</sub> pro Kubikmeter Luft liegen sie sehr tief.

Der externe Wärmebedarf ist höher als prognostiziert. Statt 24 MWh wurden 2007 64 MWh vom Fernwärmenetz auf dem Empa/Eawag-Areal bezogen. Das entspricht aber immer noch lediglich 6 kWh pro Quadratmeter Energiebezugsfläche (11 170 m<sup>2</sup>), oder anders ausgedrückt,



Chriesbach mit dem Kinderpavillon im Vordergrund. Hinten das Laborgebäude und der 2008 sanierte Bürobau. Die Server zählen zu den grössten Stromverbrauchern im Haus, doch der Serverraum ist damit auch eine wichtige Wärmequelle.

dem Energieverbrauch für zwei konventionelle Einfamilienhäuser – ein Wert deutlich unter den strengen Minergie-P-Anforderungen. Mitverantwortlich für den höheren Wärmebedarf ist die Belegung der Seminar- und Sitzungsräume. Sie ist tiefer als angenommen. Damit stehen weniger interne Wärmequellen zur Verfügung, von Mitarbeitenden, Computern und Beleuchtung. Zudem wurde die Temperatur der Zuluft aufgrund von Rückmeldungen der Mitarbeitenden leicht angehoben auf 21 °C.

2007 war auch der Stromverbrauch höher: Statt der geplanten 121 MWh wurden 195 MWh vom Netz bezogen (17 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche). Verantwortlich dafür waren einerseits das Personalrestaurant aQa – statt 150 produzierte es täglich über 260 Essen – und andererseits die öfter und länger eingeschaltete Beleuchtung auf den Korridoren. Hingegen produzierte die Fotovoltaikanlage auf dem Flachdach 71 statt 60 MWh und die thermische Solaranlage lieferte 26 statt 24 MWh pro Jahr.

### Ohne Betriebsoptimierung läuft nichts

Ein Gebäude in der Grösse des Forums Chriesbach ist mit der Schlüsselübergabe nicht einfach fertig. Wir mussten lernen, dass nicht alles auf Anhieb korrekt eingestellt ist und funktioniert und dass die Steuerung noch auf die Eigenheiten des Gebäudes und der Benutzer angepasst werden musste. Eine Betriebsoptimierung ist weit mehr als das blosse Beheben von Mängeln in der Garantiezeit und braucht eine fachkundige Betreuung. Bei den Kippfenstern für die Nachtauskühlung braucht es z.B. über 200 Elektromotoren zur automatischen Öffnung. Unnötigerweise standen sie dauernd unter Strom. Die entsprechende Korrektur der Steuerung «spart» jährlich rund 20 MWh Strom – fast ein Drittel der Produktion der Fotovoltaikanlage auf dem Dach. Angepasst wurde unter anderem auch die Steuerung der blauen Glaslamellen zur Fassadenbeschattung. Im Frühling und im Herbst nahm ihre Nachführung zu viel kostbares Tageslicht weg. Auch nach Abschluss der zweijährigen Betriebsoptimierungsphase gibt es noch Verbesserungspotenzial.



Fotos: Eawag/Stefan Kubli

Der Hörsaal ist weniger belegt als angenommen – das ist mit ein Grund, dass der externe Wärmebezug höher ist als prognostiziert.

### Bilanz gezogen

Das vom Planungsteam Bob Gysin + Partner BGP entworfene Eawag-Hauptgebäude wurde im Juni 2006 bezogen. Von Beginn der Planung an forderten Eawag und Empa, dass der Bau zum Beispiel werden soll für gelebte Nachhaltigkeit, und zwar nicht nur in Bezug auf die Umwelt, sondern auch mit Blick auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Aspekte. Denn im Gebäudebereich besteht Handlungsbedarf: Wohnen und Arbeiten machen über die Hälfte unseres Gesamtenergieverbrauchs aus.

Die detaillierten Energiezahlen sowie die Kosten für Bau und Betrieb des Forums Chriesbach wurden im Rahmen des Begleitprojekts «Energie-Detailbilanz Forum Chriesbach» erhoben durch die beiden Forschungsinstitute Eawag und Empa sowie das Ingenieurbüro 3-Plan Haustechnik AG. Das Projekt wurde auch vom Bundesamt für Energie unterstützt, die vom unabhängigen Büro Reuss Engineering AG erstellte Kostenstudie zusätzlich vom ETH-Rat.

### Wirtschaftlich lohnende Mehrinvestition

Mit 30 Millionen Franken blieben die Baukosten für das Eawag-Hauptgebäude mehr als zwei Millionen unter dem Kreditrahmen des Bundesparlaments. In einer Zusatzstudie des Projektes Energie-Detailbilanz wurden die Kosten näher unter die Lupe genommen. Die Mehrinvestition gegenüber einem vergleichbaren, konventionell gebauten Haus liegt bei knapp 5%. Die etwas höheren Kapitalfolgekosten werden jedoch mit den tieferen Betriebskosten bereits nach rund 13 Jahren wettgemacht. Steigen die Energiepreise wie erwartet an, wird sich diese Bilanz weiter verbessern. Energie- und ressourcenoptimiertes Bauen zahlt sich also finanziell aus. Zudem bringt ein konsequent nachhaltig erstelltes Gebäude weitere Vorteile, die sich wirtschaftlich nur schwer beziffern lassen, etwa eine hohe Werterhaltung oder ein gutes Gefühl und Prestige für Nutzer und Investoren.

### Nur mit viel Teamgeist möglich

Die Planung hat bei einem Bau, mit dem viele Neuland betreten, ganz besondere Bedeutung. Wichtig ist vor allem, dass der Auftraggeber nicht nur klare Vorgaben für den Architektur- und Planungswettbewerb macht, sondern über die ganze Zeit Teil des Projektteams bleibt. Sowohl in den Bauabläufen als auch bei der Zuteilung von Verantwortlichkeiten liegt noch Optimierungspotenzial. Die Unterstellung des Generalplaners unter den Generalunternehmer ist nicht immer spannungsfrei verlaufen. Wenn aber alle Beteiligten nicht nur ihr eigenes Feld beherrschen, sondern auch bereit sind, sich in andere Fachgebiete einzudenken, und mit der Überzeugung ans Werk gehen, gemeinsam etwas sinnvolles Neues tun zu wollen, dann klappt es. ○ ○ ○

- ▶ [www.forumchriesbach.eawag.ch](http://www.forumchriesbach.eawag.ch)
- ▶ [www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/](http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/)

Führungen:

Ilse Hildbrand, [ilse.hildbrand@eawag.ch](mailto:ilse.hildbrand@eawag.ch)

Kontakt:

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

# Wasser

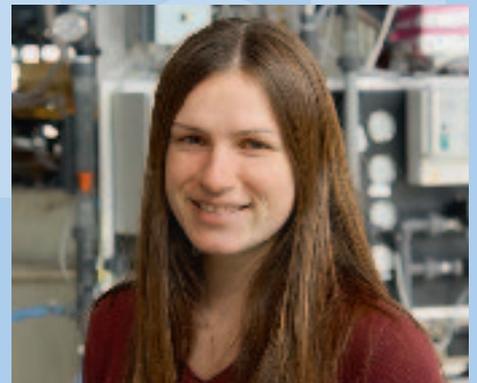
## Urbane Wassersysteme

**An der Eawag erarbeiten wir moderne Strategien für die Wasserversorgung und den Umgang mit Abwasser für die Bedürfnisse der Schweiz und anderer Industrieländer. Das schliesst ingenieurtechnische Lösungen für die Trinkwasserversorgung, Kanalisation und Kläranlagen ebenso ein wie das Erforschen und Vermeiden von Verschmutzungen, die aus dem Siedlungsraum in die Gewässer gelangen. In einem weiteren Schwerpunkt entwickeln wir Konzepte zur Siedlungshygiene, die speziell in Entwicklungsländern gemeinsam mit den Betroffenen umgesetzt werden können.**

### FORSCHEN

## An Lösungen herantasten

**Maryna Peter** hat an der Technischen Universität in Kiew (Ukraine) Chemieingenieurin studiert und erarbeitet zurzeit ihre Dissertation an der Eawag. Im Rahmen des EU-Projekts «Techneau» (Technologie für sicheres Wasser) forscht sie an einem Filtermodul, wo Wasser mit wenig Druck durch eine Membranpassage gereinigt wird. Weil das System keine aufwändige Wartung oder Steuerung benötigt, ist es besonders für den Einsatz in Haushalten von Entwicklungs- und Schwellenländern interessant (siehe S. 10). «Der Prozess, etwas von der ersten Entdeckung eines Phänomens bis zur Entwicklung einer Technologie begleiten zu können und sich Schritt für Schritt an Lösungen heranzutasten, macht für mich den Reiz der Forschung an der Eawag aus», sagt Maryna Peter. Träumt sie von einem patentierten Gerät und dem grossen Geld als Lohn für ihre Arbeit? Die junge Frau muss lachen: «Nein. Wenn unsere Resultate dazu dienen, mehr Leuten zu sauberem Trinkwasser zu verhelfen, ist das Motivation genug.» Spannend für sie sei vor allem, dem «Wie» nachzugehen. Ein ähnliches System, das mit wenig Druck arbeitet, gebe es nämlich bereits. «Aber deren Hersteller wissen gar nicht, warum ihr System funktioniert. Wir kennen nun die Chancen und Grenzen unserer Filter und können uns mit diesem Wissen daran machen, sie weiter zu verbessern.»



### Streiten erwünscht

**Willi Gujer** ist Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich und seit 2001 Mitglied der Eawag-Direktion. 2008 hat er von der Studentenschaft die «Goldene Eule» erhalten für seine hervorragenden Leistungen als Lehrer.

Zudem wurde ihm der «CS Award for Best Teaching» verliehen. Willi Gujer ist überzeugt, dass die Umweltingenieurwissenschaften ein attraktives Feld sind für die in Ausbildung stehenden jungen Leute: «Ein grosser Teil der Menschheit

hat keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser», sagt er, «hier wartet eine Riesenaufgabe.» Siedlungswasserwirtschaft sei eine breite Disziplin. «Dazu gehört nicht nur Hydraulik, sondern auch Hydrologie, Mikrobiologie, Chemie und Wirtschaft», sagt er und betont, dass die multidisziplinäre Arbeitsweise auch Frauen anspricht. Und worin liegt das Geheimnis für seine vorbildliche Lehre? «Wichtig ist eine hohe Motivation des Dozierenden», sagt Gujer, «und man darf etwas verlangen; man muss die Studenten ernst nehmen. Sie haben das Recht, etwas zu lernen und nicht bloss Lektionen absitzen zu müssen. Am meisten aber», so Gujer, «lernt man mit aktiver Beteiligung. Schade, dass es kaum je zum fachlichen Streiten mit Studierenden kommt.»



Tom Kawara

### Millionen gespart

**Bruno Storni** ist Elektro- und Informatikingenieur. Mit seiner Firma entwickelt und programmiert er elektronische Systeme für die Steuerung industrieller Prozesse und die Raumfahrt. Im Gemeinderat Gordola ist er verantwortlich für die Wasserversorgung. Diese konnte dank einer mit mehreren Diplomarbeiten unterstützten Beratung durch die Eawag ein sehr grosszügig dimensioniertes Ausbauprojekt aus den 1990er-

Jahren ad acta legen und bis heute rund 10 Millionen Franken an Investitionen sowie viel Energie sparen (siehe S. 17). Storni ist sich sicher: «Einzelne Teile der Arbeit hätten wir mit privaten Büros angehen können und machen das heute auch mit Erfolg. Doch der innovative Ansatz mit Berücksichtigung der Verbraucher- und Versorgerseite wäre ohne das Know-how aus der Eawag nicht zustande gekommen.» Denn die Anreize für eine wirklich nachhaltige Infrastruktur funktionierten immer noch schlecht. Etwa weil sich die Planungshonorare aus dem Investitionsvolumen für die Anlagen ableiten. Storni ist überzeugt, dass man noch weiter gehen könnte. Die immer deutlicher sichtbaren Vorteile für seine Gemeinde lassen aus Kritikern mehr und mehr Nachahmer werden. «Dazu hat die hohe Glaubwürdigkeit der Eawag viel beigetragen», sagt er.





# Membranfilter für sauberes Trinkwasser

**In enger Zusammenarbeit mit öffentlichen Wasserversorgungen und Fachfirmen entwickelt die Eawag effizientere Methoden zur Trinkwasseraufbereitung. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Membranfiltration. Ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten zu vergleichsweise günstigen Kosten können nicht nur bei uns, sondern auch in Entwicklungs- und Schwellenländern die Versorgung der Bevölkerung mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser sichern.**

Bis Ende 2007 musste die Wasserversorgungsgenossenschaft Frutigen im Berner Oberland ihr Quellwasser vor allem nach Gewittern oder während der Schneeschmelze oft tagelang ungenutzt in den Leimbach einleiten. Zwar verfügte das 1968 erbaute Reservoir Fuchschrummen über eine Chlorgasaufbereitung zur Entkeimung des Rohwassers. Doch gegen die witterungsbedingte Verunreinigung mit Trübstoffen vermochte dieses klassische Desinfektionsverfahren nichts auszurichten.

Die ob Frutigen gefassten Karstquellen entspringen an den Flanken der Niesenkette, wo die Niederschläge aufgrund der geologischen Gegebenheiten rasch versickern und während der natürlichen Bodenpassage nur mangelhaft gefiltert werden. Diese Situation ist typisch für eine Vielzahl von Karstquellen in den Schweizer Voralpen, im Jura sowie in den Gebirgskantonen Wallis und Graubünden. Hier kämpfen die Wasserversorgungen denn auch häufig mit dem Problem der stark schwankenden

Rohwasserqualität. Dabei gehen erhöhte Trübungswerte oft mit einer übermässigen mikrobiologischen Belastung durch Parasiten, Bakterien und Viren einher.

## **Wirksame Membranfiltration**

Trotz dieser ungünstigen Verhältnisse fliesst in Frutigen seit Dezember 2007 glasklares und hygienisch einwandfreies Trinkwasser in die 600 Kubikmeter fassenden Reservoirs. Auf diesen Zeitpunkt hat man die inzwischen veraltete Chlorgas-Anlage nämlich durch eine Membran-Ultrafiltration ersetzt. Diese Technologie wird von der Eawag erforscht und weiterentwickelt. Mit Ultrafiltration konnte die Genossenschaft die Versorgungssicherheit erhöhen, ohne weitere Rohwasservorkommen zu erschliessen oder zusätzliches Speichervolumen erstellen zu müssen, denn sie funktioniert bei jedem Wetter. Nach einem Vorfilter, der grobe Partikel entfernt, gelangt das Karstwasser in die aus 40 Zylindern bestehende Membranfilteranlage, welche stündlich bis zu 108 Kubik-

meter Trinkwasser produziert. Die nur Bruchteile eines Mikrometers grossen Membranporen wirken dabei als physikalische Barriere. Sie lassen das Wasser und die gelösten Mineralsalze passieren, halten aber Trübstoffe, Keime, Parasiten und Viren wirkungsvoll zurück. Damit hat die mechanische Reinigung des Quellwassers gleichzeitig auch die Funktion einer Desinfektion, ohne dass dazu weitere chemische Hilfsmittel wie Chlor oder Ozon nötig wären.

### Periodische Reinigung

In Frutigen steigen die Trübungswerte des Rohwassers nach intensiven Niederschlägen auf bis zu 100 NTU an, ein Wert, welcher der Verschlammung von schwach belastetem Abwasser entspricht. Dies liess Bedenken aufkommen, die hohe Partikelfracht könnte die Durchlässigkeit der ultrafeinen Membranporen stark beeinträchtigen. Um allfälligen Verstopfungen vorzubeugen, wird der Wasserzulauf zu den Filtern computergesteuert bis zu drei Mal täglich unterbrochen, damit die Membranen mit Javelwasser desinfiziert und danach mit Frischwasser gespült werden können. Die vollautomatische Aufbereitungsanlage hat nur einen geringen Fremdenergiebedarf,

weil das Quellwasser trotz vorgängiger Turbinierung mit 1 bar noch über einen ausreichenden hydraulischen Druck für die Ultrafiltration verfügt. Angesichts der vielfältigen Vorteile ersetzen immer mehr Wasserwerke im Inland bestehende Verfahren für die Aufbereitung ihres Quellwassers durch die Ultrafiltration. Vor

Verfahren	Porengrösse [ $\mu\text{m}$ ]
Mikrofiltration	>0,05
Ultrafiltration	0,002–0,05
Nanofiltration	0,001–0,002
Umkehrosmose	<0,001

Membranverfahren im Vergleich. Ein  $\mu\text{m}$  ist  $\frac{1}{1000}$  Millimeter.

um allfälligen Verstopfungen vorzubeugen, wird der Wasserzulauf zu den Filtern computergesteuert bis zu drei Mal täglich unterbrochen, damit die Membranen mit Javelwasser desinfiziert und danach mit Frischwasser gespült werden können. Die vollautomatische Aufbereitungsanlage hat nur einen geringen Fremdenergiebedarf,

weil das Quellwasser trotz vorgängiger Turbinierung mit 1 bar noch über einen ausreichenden hydraulischen Druck für die Ultrafiltration verfügt. Angesichts der vielfältigen Vorteile ersetzen immer mehr Wasserwerke im Inland bestehende Verfahren für die Aufbereitung ihres Quellwassers durch die Ultrafiltration. Vor

### Auch geeignet für Entwicklungsländer

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser in ausreichenden Mengen gilt als eines der wirksamsten Instrumente zur Armutsbekämpfung. Bis heute bleibt das Recht auf dieses wichtigste Lebensmittel jedoch über einer Milliarde Menschen verwehrt. Vor allem in den ärmeren Ländern Asiens und Afrikas gibt es vielerorts entweder gar keine oder nur unzuverlässig funktionierende Versorgungsnetze.

Die Membrantechnologie kann selbst unter diesen schwierigen Bedingungen viel zur Problemlösung beitragen. So beteiligt sich die Eawag an der Entwicklung von einfachen Filteranlagen für den dezentralen Einsatz, die nur mit der Schwerkraft auskommen, sodass es weder Pumpen, noch eine externe Energieversorgung oder Reinigungschemikalien braucht.

Wie die bisherigen Forschungsergebnisse zeigen, garantieren solche Systeme – unter bestimmten Voraussetzungen – erstaunlicherweise auch ohne Rückspülung oder chemische Reinigung der Membranen während Monaten eine sichere Desinfektion des mikrobiologisch belasteten Rohwassers. Wird eine Membrane nur mit Niederdruck betrieben, sorgt der sich bildende Biofilm nach einem anfänglichen Leistungsabfall für eine Stabilisierung der gefilterten Durchflussmenge. Spült man die Filter gelegentlich mit sauberem Wasser, können solche Anlagen sogar jahrelang ihre Funktion erfüllen.

Die günstige Technologie eignet sich für Betriebe, Haushalte und Quartiere ebenso wie für den Einsatz in Krisen- oder Katastrophengebieten. Für diesen Zweck hat die Eawag in Zusammenarbeit mit Veolia, einem der weltweit grössten Umweltkonzerne, eine Pilotanlage für die Niederdruck-Ultrafiltration in einem Frachtkontainer entwickelt.



allen in den Karstregionen sind in den letzten Jahren etliche Anlagen mit Leistungen zwischen 1 und 480 Kubikmetern pro Stunde entstanden. Von Anbeginn weg hat die Eawag diese Entwicklung mit ihrer Grundlagenforschung, der Begleitung von Pilotprojekten und konkreten Lösungsvorschlägen für die Optimierung der Trinkwasseraufbereitung mit Membrantechnologie wesentlich mitgestaltet.

### Schadstoffe schlüpfen durch

Wouter Pronk, der als Verfahrenstechniker die Gruppe Membrantechnologie in der Eawag-Abteilung Siedlungswasserwirtschaft leitet, erachtet die Ultrafiltration von Quell- und Grundwasser als zuverlässige Alternative zu gängigen Verfahrensketten wie etwa Flockung, Sandfiltration, Ozondosierung, Aktivkohlefilter und Chlorzugabe für den Netzschutz. Sie stelle weniger hohe fachliche Anforderungen an die Betreiber der Wasserversorgungen und garantiere zu vergleichsweise günstigen Kosten eine verlässliche Eliminierung der potenziell gesundheitsgefährdenden Mikroorganismen. «Enthält das zu behandelnde Rohwasser aber auch Schad-, Geschmacks- und Geruchsstoffe oder zu viel assimilierbaren organischen Kohlenstoff (AOC), so muss man die Ultrafiltration mit einer Kombination von Ozonung und Aktivkohlefilter ergänzen», stellt er fest.

### Einfachere Aufbereitung des Seewassers

Um den hygienischen Anforderungen der schweizerischen Lebensmittelgesetzgebung jederzeit zu genügen, müssen die öffentlichen Trinkwasserversorgungen 33 Prozent des verwendeten Rohwassers von jährlich 1000 Millionen Kubikmetern einfach aufbereiten und weitere 29 Prozent mehrstufig behandeln. Absolut zwingend sind die Verfahrensketten in den 30 Seewasserwerken, welche insgesamt knapp einen Fünftel des Trinkwassers liefern. Auch hier kommt bei Neubauten oder Sanierungen zunehmend die Ultrafiltration zum Einsatz, meist nachgeschaltet an eine Ozonbehandlung und Aktivkohlefiltration.

Die Membranen beanspruchen eine deutlich kleinere Fläche als die klassischen Sandfilterbecken, erfordern im Vergleich zu den gängigen Aufbereitungsprozessen weniger Chemikalien und Energie, sind dadurch kostengünstiger und reinigen das Rohwasser erst noch besser, wie etwa die Analysen des Trinkwassers aus dem Ende 2005 eröffneten Seewasserwerk Männedorf ZH zeigen. Pro Tag werden hier bis zu 6000 Kubikmeter des zuvor mit Ozon und Aktivkohle behandelten Rohwassers in 164 Membranmodulen gereinigt. Eine 7380 Quadratmeter umfassende Filterfläche mit Porengrössen von 0,02 Mikrometern eliminiert dabei Feststoffe, Mikro-

organismen, Bakterien und Viren. In Kooperation mit der Lieferfirma Wabag haben Fachleute der Eawag die dafür erforderliche Wasseranalytik erprobt und etabliert.

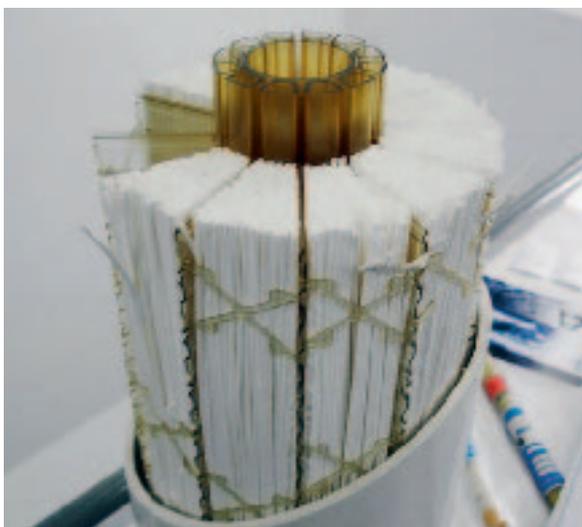
### Optimale Verfahrenskombination

Um die Gewinnung von qualitativ einwandfreiem Trinkwasser aus Oberflächengewässern weiter zu optimieren, arbeitet das Wasserforschungsinstitut auch eng mit der Wasserversorgung Zürich zusammen. Unter Einbezug modernster Analytikmethoden testet die Eawag für das schweizweit grösste Seewasserwerk Lengg – mit seiner Tageskapazität von 250 000 Kubikmetern – verschiedene Aufbereitungstechnologien und Verfahrenskombinationen im Labor- und Pilotmassstab. Ziel ist ein auf die jeweilige Rohwasserqualität ausgerichteter Einsatz der am besten geeigneten Behandlungsmethoden. Die vorgängigen Analysen der Wasserbeschaffenheit umfassen dabei auch sonst nicht routinemässig untersuchte – für das Produktwasser jedoch entscheidende – Qualitätsparameter wie Nanopartikel, natürliches organisches Material (NOM), Geruchs- und Geschmacksstoffe, verwertbarer organischer Kohlenstoff (AOC) sowie Zellzahl und pathogene Mikroorganismen.

### Leistungsfähigkeit der Membranen steigern

Einige dieser Bestandteile im Rohwasser wie NOM und gelöstes Eisen oder Mangan können die Membranen verstopfen und beeinträchtigen deren Leistungsfähigkeit. Man spricht von Membranfouling. Mit ihrer Grundlagenforschung zu diesem Problem fördert die Eawag das Verständnis dieses Prozesses. So hat sich entgegen den Erwartungen gezeigt, dass Ultrafiltrations-Membranen weniger zur Verstopfung neigen als die gröberen Poren bei der Mikrofiltration. Feinste Wasserinhaltsstoffe bleiben offenbar bereits in der Deckschicht hängen, während sie in grösseren Poren, die in der gleichen Grössenordnung liegen wie die Partikel selbst, leicht verkanten und den Durchgang blockieren. Basierend auf solchen Erkenntnissen entwickeln Fachleute der Eawag Modelle, um die von der Rohwasserqualität abhängige Durchlässigkeit der Membranen und damit ihre Reinigungsleistung zu prognostizieren. «Mit dieser Grundlage möchten wir die Auslegung der Ultrafiltrationsanlagen optimal bestimmen können und zudem Strategien zur Leistungssteigerung der Membranprozesse evaluieren», erklärt Wouter Pronk. «Dazu gehören etwa Betriebsbedingungen wie der hydraulische Druck, die Membranreinigung und bei Bedarf auch ergänzende Verfahren zur Vorbehandlung des Rohwassers.» ○ ○ ○

AWA, Kt. Bern

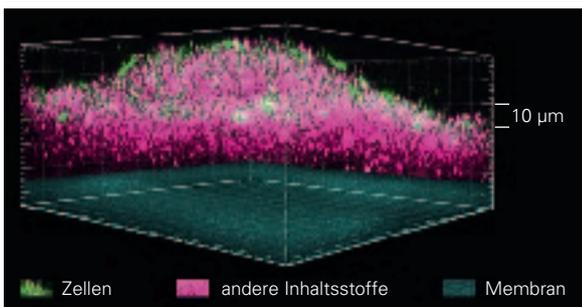


Innenleben eines (Ultra-)Membranfilters. Die Porengrösse liegt bei 2 bis 50 Milliardstel Meter. Die Membranoberfläche pro Zylinder beträgt rund 50 m<sup>2</sup>.

AWA, Kt. Bern



Die Ultrafiltrationsanlage im bernischen Frutigen umfasst 40 Zylinder, welche die Membranen enthalten.



3-D-Aufnahme mit dem Lasermikroskop: Zwischen der Membran und dem «Biofilmhügel» bilden sich Hohlräume.

Projekt Wasserversorgung im 21. Jahrhundert:

- ▶ [www.wave21.eawag.ch](http://www.wave21.eawag.ch)
- ▶ Eawag News Nr. 65d: «Vom Gewässer ins Glas – Gutes Trinkwasser für heute und morgen»

Kontakt:

Dr. Wouter Pronk, [wouter.pronk@eawag.ch](mailto:wouter.pronk@eawag.ch)  
 Prof. Dr. Urs von Gunten, [urs.vongunten@eawag.ch](mailto:urs.vongunten@eawag.ch)

# Biogas gegen das Abfallproblem

**Um gegen das Abfallproblem in den Städten von Entwicklungsländern anzugehen, erforscht die Eawag neue Lösungen zur Verarbeitung von organischen Siedlungsabfällen. Als besonders vielversprechend gelten Anlagen, die Biogas produzieren – auch im sehr kleinen Massstab und mit einfacher Technik.**

**Wenn ein System in Indien funktioniert, heisst das noch nicht, dass es für Afrika unverändert übernommen werden kann.**

In Entwicklungsländern ist der stetig wachsende Müllberg in städtischen Gebieten ein grosses Risiko für Umwelt und Gesundheit. Sickerwasser von offenen Müllhalden verschmutzt

Boden und Grundwasser, denn der Anteil des organischen Materials am festen Abfall beträgt oft bis zu 70%. Zudem verpestet die Mülldeponien die Luft und locken Ratten an, die Krankheiten übertragen können. Grund genug für das Wasserforschungs-Institut

Eawag, sich mit den Abfällen aus Küchen und vom Markt zu befassen. Denn die Lösung ist klar: Der organische Siedlungsabfall darf gar nicht erst auf die Deponien gelangen.

## Rad nicht neu erfinden

In Industrieländern hat sich für die Verarbeitung von organischem Material nebst der klassischen Kompostierung schon seit Längerem die anaerobe Vergärung durchgesetzt. Dabei bauen Mikroorganismen den Abfall unter Sauerstoffausschluss zu Biogas



Kondenswasser muss entfernt werden, damit die Gasleitung nicht blockiert wird: Vorschlag für einen einfachen Abscheider.

ab, einem Gemisch aus Kohlendioxid und Methan. Die dafür eingesetzten Hightech-Systeme sind für kleinere Städte in Entwicklungsländern aber unpraktisch und unrentabel. Gefragt sind einfache Lösungen, vor allem auch Kleinanlagen, die auf Haushalt- oder Quartierebene funktionieren. Dazu muss aber nicht alles neu erfunden werden: Die Untersuchungen der Eawag zeigen, dass vor allem China, Indien und Nepal schon reichlich Erfahrung besitzen mit solchen Systemen. Als Ausgangsmaterial für die mehreren Millionen Kleinanlagen dient jedoch Tiermist oder Fäkal-schlamm, da die Vergärung fast ausschliesslich in ländlichen Gebieten zum Einsatz kommt.

## Willkommene Energie

Im Gegensatz dazu ist die Vergärung von Küchen- und Markt- abfällen erst seit Kurzem ein Thema und bisher kaum verbreitet. Pionierprojekte finden sich vorwiegend in Indien. Design und Qualität der Anlagen sind unterschiedlich, und die Grösse reicht von kleinen Systemen für einen einzigen Haushalt (1–5 kg Abfall pro Tag) bis zu Grossanlagen (100 Tonnen). Die Anwender sind zufrieden, dass sie ihre Abfälle einfach entsorgen und zusätzlich das Biogas auch zum

Kochen oder sogar zur Stromproduktion verwenden können. Bereits mit nur 2 kg Küchenabfall täglich können 200 Liter Biogas produziert werden – genug, um 45 Minuten lang zu kochen. Das spart Brennholz oder andere Energieträger. Ausserdem bleibt nach der Vergärung ein nährstoffreicher Dünger für den Garten zurück.

## Leistung und Sicherheit verbessern

«Einige der Pionierprojekte sind vielversprechend», freut sich Yvonne Vögeli von der Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern. Allerdings mangelt es noch an wissenschaftlich fundierten Informationen.

Sie untersucht daher Biogasanlagen in Indien und Lesotho. In einem gemeinsamen Projekt mit der Universität Daressalam und der Zürcher Fachhochschule testet sie in Tansania eine Biogas-Anlage für einzelne Haushalte. Funktionsweise und Leistungsfähigkeit werden unter die Lupe genommen. Die Daten über technische Eigenschaften, Umweltverträglichkeit oder Sicherheit dienen dann als Grundlage, um Design, Betrieb und Unterhalt einiger Systeme zu verbessern. Langfristig müssten die Anlagen auch finanziell rentieren, so Vögeli.

Deshalb will die Eawag insbesondere die Unterstützung der örtlichen Behörden gewinnen. So können Biogas-Systeme schon bald einen wichtigen Beitrag zum erfolgreichen und nachhaltigen Umgang mit organischem Siedlungsabfall in Entwicklungsländern leisten. ○ ○ ○



Biogas-Kleinanlage für einen Haushalt in Daressalam, Tansania. Das ursprünglich in Indien entwickelte System funktioniert. Doch Daten, z. B. über die produzierte Gasmenge und -zusammensetzung fehlen.

Kontakt:  
Yvonne Vögeli,  
yvonne.voegeli@eawag.ch

# Umweltgerecht heizen mit Abwasser

**Der Wärmeunterschied im Vergleich zur Umgebungstemperatur macht das Abwasser zur lohnenden Energiequelle. In den letzten Jahren sind die technischen Verfahren zur Nutzung dieses Potenzials hierzulande laufend optimiert worden. Mit ihrer Forschung und der Vernetzung von Fachleuten aus verschiedenen Disziplinen hat die Eawag wesentlich zum Fortschritt und zur führenden Rolle der Schweiz auf diesem Gebiet beigetragen.**

Allein in den Schweizer Haushalten fallen täglich rund 1,2 Millionen Kubikmeter Abwasser an. Ein Teil davon ist zuvor durch Boiler, Solar Kollektoren, Waschmaschinen oder Geschirrspüler erhitzt worden und

auch als Abwasser immer noch warm. Würde man das gesamte Abwasser im Inland laufend um nur 1°C abkühlen, entspräche das einer Leistung von rund 300 Megawatt – nahezu die Leistung des Kernkraftwerks Mühleberg. Ohne näher auf die Frage der Wirtschaftlichkeit einzugehen, liesse sich aus unserem Abwasser der Heizenergiebedarf von über 300 000 Haushalten decken. So kann etwa die landesweit leistungsstärkste Anlage des Energieverbunds Schlieren ZH – mit gereinigtem Abwasser aus der nahen ARA Werdhölzli – im Endausbau jährlich 5 Millionen Liter Heizöl ersetzen oder umgerechnet 9000 Minergie-Wohnungen versorgen.

## Noch mehr Wärme im ungeklärten Abwasser

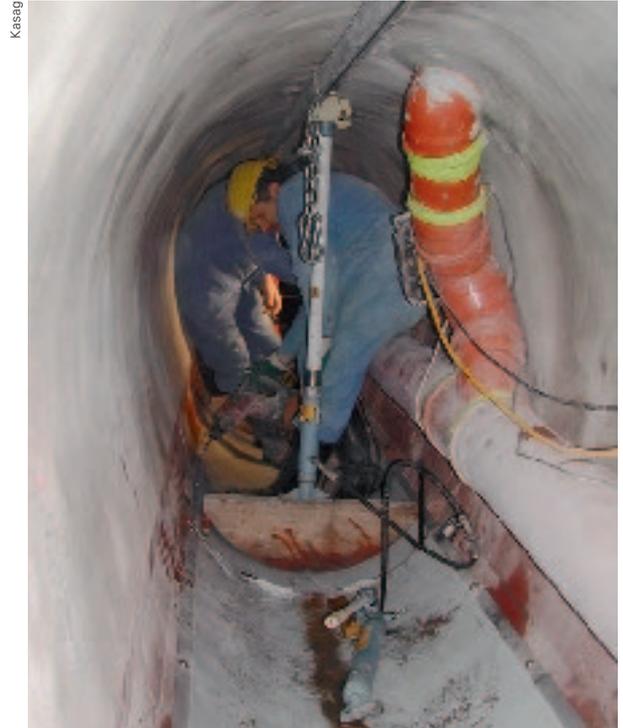
«In der Praxis schränkt die Lage zahlreicher Kläranlagen abseits der Siedlungen die Wärmenutzung nach der ARA aber vielerorts ein, weil die Entfernung zu den Energiebezüglern zu gross ist», erklärt Oskar Wanner von der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft. «Je nach Versorgungsgebiet ist es deshalb ökologisch sinnvoll, die Abwärme bereits dem ungeklärten Abwasser zu entziehen.» Dies kann in hauseigenen Anlagen von grösseren Überbauungen oder Betrieben mit einem erhöhten Warmwasserverbrauch geschehen, wo die Energie dem rund 20 Grad warmen Abwasser zum Beispiel in einem

Zwischenspeicher entnommen wird. Bei ausreichendem und einigermaßen konstantem Abwasserfluss kommt auch eine Wärmenutzung im Kanalisationsnetz in Frage. Dabei wird der Wärmetauscher direkt in die

Abwasserleitung eingebaut. Die Pioniere aus der Heizungsbranche, welche in den 1980er-Jahren die ersten solchen Anlagen installierten, unterschätzten dabei jedoch die Wirkung der Schmutzstoffe im Abwasser auf die Leistung der Wärmetauscher. Wie Messungen der Eawag gezeigt haben, kann die Energieübertragung durch den sich bildenden Biofilm bereits nach wenigen Tagen um bis zu 40 Prozent reduziert werden. Laborversuche ergaben jedoch auch, dass eine kurzfristige Erhöhung der Fliessgeschwindigkeit die unerwünschte Sielhaut zumindest teilweise abschwemmt. Bei einer wöchentlichen Spülung erreichen die meisten Wärmetauscher somit fast wieder ihre ursprüngliche Leistung.

## Simulation zeigt Chancen und Grenzen

Ein Verdienst der Eawag ist der Know-how-Transfer zur Optimierung und breiteren Nutzung der Technologie sowie die Vernetzung von Fachleuten aus verschiedenen Branchen. Sie müssen zum Beispiel berücksichtigen, dass der Wärmeentzug aus dem ungeklärten Abwasser die Reinigungsleistung der Mikroorganismen in der Kläranlage nicht herabsetzen darf. Dies gilt vorab für den biologischen Abbau von Stickstoff. Damit die als kritisch geltende Wassertemperatur von mindestens 8 Grad in der ARA nicht unterschritten



Montage eines Rinnenwärmetauschers in einem Kanalisationshauptrohr.

wird, hat die Eawag für Ingenieure und Planer ein interaktives Simulationsprogramm entwickelt. Anhand von einfachen Kenngrössen wie Temperatur, Durchfluss, Distanz zur Kläranlage und Topografie des Kanalisationsystems lassen sich mit dem Modell TEMPEST die Dynamik und der Verlauf der Abwassertemperatur von einer geplanten Wärmerückgewinnungsanlage bis zur ARA bestimmen und damit die zulässige Wärmeentnahme berechnen. ○ ○ ○

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

Kontakt:

Prof. Dr. Hansruedi Siegrist,  
hansruedi.siegrist@eawag.ch

# Den Cholerabakterien auf der Spur

**Cholerabakterien können nicht nur im menschlichen Darm, sondern auch im Süsswasser und in Konkurrenz mit dort lebenden Bakterien bestens überleben. Bisher ging man davon aus, dass sich der Krankheitserreger in der Umwelt nur im Brackwasser vermehren kann. Die Resultate, die ein Eawag-Team mit Greifensee erarbeitet hat, erlauben nun, das Cholerarisiko realistischer abzuschätzen.**

**Eine gute Siedlungshygiene bleibt entscheidend, um die Verbreitung der Cholera zu bekämpfen.**

Bisher ging man davon aus, dass Choleraerreger im – verglichen zum Darm – nährstoffarmen und kühlen Süsswasser wohl überleben, für die Vermehrung in der Umwelt jedoch leicht salziges Brackwasser benötigen. Ein Eawag-Team nahm Wasser aus dem Greifensee und filtrierte die

darin lebenden Bakterien heraus. Danach impften die Forscher das sterilisierte, aber sonst unveränderte Seewasser wieder mit den Bakterien an und fügten Cholerabakterien zu. Im folgenden

Wettkampf um die Nährstoffe konnten sich die Cholerabakterien gegenüber den «Seebakterien» gut behaupten. Der Erreger kann also nicht nur im menschlichen Darm, sondern auch im Süsswasser und in Konkurrenz mit den dort vorkommenden Bakterien bestens überleben und sich sogar vermehren.

## Stichwort Cholera

Die Cholera ist eine schwere bakterielle Infektionskrankheit, die vorwiegend den nährstoffreichen Dünndarm befällt. Sie führt zu Durchfall und Erbrechen und damit zu einer schnellen Austrocknung des Körpers. Bei Ausbruch führt die Krankheit ohne Behandlung in rund 50 % der Fälle zum Tod. Cholera wird vor allem durch verschmutztes Trinkwasser übertragen. Die Krankheit kommt heute noch in Entwicklungs- und Schwellenländern des Südens vor, aber auch in Russland, China und Japan. Direkte Ursache des Durchfalls ist ein Toxin, welches das Cholerabakterium im nährstoffreichen Dünndarm produziert.

## Mehr Konkurrenz bei Wärme

Ausserdem untersuchten die Wissenschaftler, ob höhere Temperaturen, wie sie mit dem Klimawandel erwartet werden, den Cholerabakterien einen Vorteil verschaffen. Zwar vermehrten sich die Cholerabakterien bei höheren Temperaturen tatsächlich besser, jedoch stieg auch die Wachstumsrate der Seebakterien in gleichem Ausmass. Im Wettbewerb um die Nährstoffe war am Ende der Anteil an Cholerabakterien an der Gesamtbakterienanzahl bei allen getesteten Temperaturen praktisch identisch. «Die künstliche Laborsituation darf zwar nicht mit der viel komplexeren natürlichen Umwelt gleichgesetzt werden», sagt der Umweltmikrobiologe Marius Vital, «wir konnten jedoch zeigen, dass die Cholerabakterien in der Wärme nicht automatisch einen Vorteil haben, wie bisher spekuliert worden war.»

## Keine Gefahr aus dem Greifensee

Die neuen Resultate weisen darauf hin, dass an nährstoffreichen, mit Fäkalien verschmutzten Flüssen und Seen – wie sie in Entwicklungsländern oft vorkommen – das Risiko,

an Cholera zu erkranken, neu eingeschätzt werden muss. Generell müssen zusätzliche mögliche Infektionsherde einbezogen werden. Obwohl die Versuche erfolgreich mit Greifenseewasser durchgeführt wurden, zählt der nährstoffreiche Greifensee nicht dazu. Denn entscheidend für die Verbreitung der Infektionskrankheit ist nach wie vor die Hygiene. Dank einer effizienten Abwasserreinigung und einer sicheren Trinkwasserversorgung treten Cholerafälle in Europa praktisch nur noch auf, wenn Reisende das Bakterium aus anderen Erdteilen eingeschleppt haben, etwa aus Afrika, Südamerika oder Südostasien.

## Neue Methodik entwickelt

Die neuen Resultate sind nicht zuletzt einer neuen Methodik zu verdanken, die an der Eawag entwickelt wurde. Dabei werden Mikroorganismen nicht mehr auf Nährstoffplatten zu zählbaren Kolonien vermehrt, sondern direkt mit speziellen Antikörpern und fluoreszierender Farbe markiert und danach in einem aus der Medizin bekannten Durchflusszytometer mit Hilfe eines Laserstrahls ausgezählt. Das liefert in deutlich kürzerer Zeit präzisere Ergebnisse als mit den traditionellen Verfahren. Bereits wird die Methodik etwa von der Wasserversorgung Zürich zur Überwachung der Trinkwasserqualität eingesetzt. Zusammen mit der Privatwirtschaft entwickelt die Eawag zur Zeit eine feldtaugliche Version, welche in Krisen- oder Katastrophenregionen einsetzbar ist und helfen soll, Epidemien vorzubeugen. ○ ○ ○



Verschmutztes Trinkwasser aus dem Strassengraben ist – wie hier in Harare (Simbabwe) – an vielen Orten die Ursache für die Verbreitung der Cholera.

Kontakt:  
Prof. Dr. Thomas Egli,  
thomas.egli@eawag.ch

# Eawag-Beratung spart Millionen

**Dank Studien der Eawag konnte die Tessiner Gemeinde Gordola auf einen sehr grosszügig geplanten Ausbau ihrer Wasserversorgung verzichten und rund zehn Millionen Franken Investitionen sparen. Zudem haben die gezielte Verringerung des Wasserkonsums und eine Optimierung der Verteilung einen deutlich geringeren Energieverbrauch zur Folge – ein Beispiel, das Schule machen könnte.**

In vielen Gemeinden steht eine Erneuerung der Wasserversorgungsanlagen an. Und vielerorts sind die in den 1960er- und 1970er-Jahren ausgebauten Werke heute überdimensioniert. Die Planungen gingen damals von einem Wachstum aus, das so nicht eingetroffen ist, und der Wasserverbrauch pro Kopf ist seit dieser Zeit rückläufig. Dazu kommt, dass das Gewässerschutzgesetz bereits seit 1992 eine «haushälterische Nutzung des Trink- und Brauchwassers» verlangt und dass heute gemäss dem Verursacherprinzip einzig die Wasserkonsumenten und nicht mehr die Steuerkasse für die Anlagen und deren Betrieb aufkommen müssen. Weil ihnen ein seit 1993 auf die lange Bank geschobenes, auf 15 Mio. Franken veranschlagtes Ausbauprojekt zu umfangreich und zu teuer schien, haben sich die Verantwortlichen der Tessiner Gemeinde Gordola daher an die Eawag gewandt.

## Beratung für Forschung und Ausbildung genutzt

Mit eigenen Arbeiten, aber auch im Rahmen von mehreren Diplomarbeiten an der ETH und an der Hochschule für Technik Zürich hat die Eawag-Abteilung Siedlungswasserwirtschaft unter Prof. Markus Boller die Situation unter die Lupe genommen. Den Anfang machten eine Bestandsaufnahme und eine systematische Suche nach Wasserverlusten im Verteilnetz. Rasch zeigte sich, dass die Netzverluste über 500 m<sup>3</sup>/Tag betragen – wohl seit Jahren. Das ist fast ein Drittel der Wasserabgabe. Dank einer Sanierung der Lecks und Überläufe konnten diese Verluste um 80% reduziert werden. Zudem wurde ein Konzept erstellt, das mit Hilfe von Zählern an strategischen Punkten nun die kontinuierliche Überwachung des Netzes erlaubt.

## Verbrauchsspitzen reduziert

Mit einer Umfrage bei den Konsumenten und einer Analyse der vorhandenen Daten konnten wir aufzeigen, dass der Spitzenverbrauch in Gordola einzig auf die Bewässerung von Gärten und Rasen sowie auf das gleichzeitige Füllen von Swimmingpools zurückzuführen war. Die Wasserversorgung hat nun die Regelung umgesetzt, dass private Schwimmbäder nur noch nachts und nach Plan aufgefüllt werden dürfen. Bereits mit dieser einfachen Lösung hat die Gemeinde eine Reduktion des Spitzenverbrauchs erzielt. Zurzeit werden mit einzelnen Grossverbrauchern weitere Massnahmen studiert. Z. B. soll demnächst ein Gemüsebaubetrieb an die Bewässerungsleitung des Fussballplatzes angeschlossen werden, die nicht mit Trinkwasser gespeist wird.

## Ökostrom produzieren

Der für die Wasserversorgung zuständige Gemeinderat, Bruno Storni (siehe S. 9) ist überzeugt, dass Wasser sparen auch Energie sparen bedeutet. Allein die gerade mal 20 000 Franken kostende Behebung der Lecks habe dazu geführt, dass heute jährlich rund 120 000 kWh Pumpenstrom weniger benötigt werden als gemäss dem ursprünglichen Projekt. 2008 ist zudem die Haupttransportleitung von den genutzten Quellen ins Netz ersetzt worden. Jetzt ist der Weg frei, einen weiteren Vorschlag aus der Eawag-Analyse umzusetzen: Das Gefälle von 250 m bis ins Dorf soll mit einem Kleinkraftwerk genutzt werden, das jährlich 160 000 kWh Ökostrom produzieren wird – genug für den Bedarf von mindestens 40 Haushalten. Die Erfahrung zeigt ausserdem, dass der bewusstere Umgang mit dem Trinkwasser, etwa mit Wasser sparenden



Bruno Storni

Die am Hang und in der Magadinoebene gelegene Tessiner Gemeinde Gordola. Im Vordergrund das Wasserreservoir, das gerade saniert wird.

Armaturen und Geräten, automatisch auch zu weniger Warmwasserverbrauch führt – mit entsprechend kleinerem Energieverbrauch in den Haushalten.

Gordola hat inzwischen weitere von der Eawag vorgeschlagene Massnahmen realisiert, z. B. eine vermehrte Information der Verbraucher über Sparpotenziale, die Wiederinbetriebnahme stillgelegter Quellen oder die bessere Vernetzung mit Nachbargemeinden, was eine regionale Optimierung der Wasserversorgung erlaubt. Ohne Investitionen waren diese Veränderungen natürlich nicht möglich. Zusätzlich musste das Wasserwerk für die Qualitätssicherung und ausreichende Löschwasserkapazitäten rund 3 Millionen Franken einsetzen. Die Einsparungen gegenüber dem ursprünglichen 15-Millionen-Projekt betragen aber laut Storni mindestens 10 Millionen Franken. ○ ○ ○

### Kontakt Eawag:

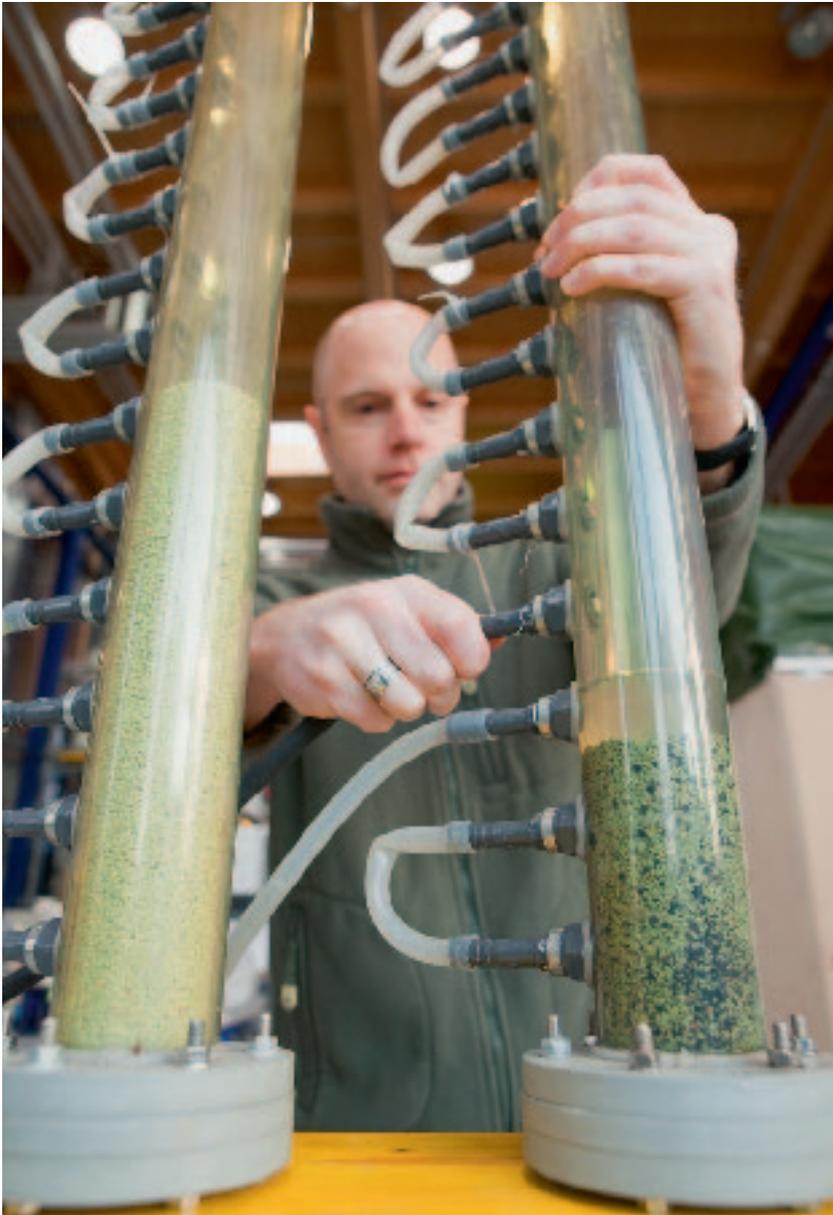
Prof. Dr. Willi Gujer, willi.gujer@eawag.ch  
Dr. Max Maurer, max.maurer@eawag.ch

### Kontakt Gordola:

Bruno Storni, storni@adelsy.ch

# Fische mögen Kupfer nicht

**Kupfer ist als Material zur Abdeckung von Dächern und Fassaden beliebt. Weil Dachabwasser wenn möglich versickert oder in ein Fließgewässer eingeleitet werden muss, gelangen Kupferkorrosionsprodukte in den Boden oder in die Gewässer. Dort wirkt das Kupfer toxisch auf Gewässerlebewesen. Die Eawag hat massgeblich dazu beigetragen, dass dieses Problem erkannt wurde, und mit ihrer Forschung Lösungen aufgezeigt.**



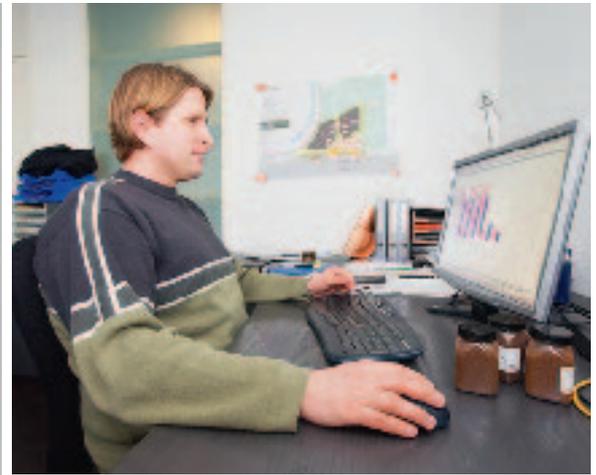
In der Eawag-Versuchshalle hat Michele Steiner die Wirksamkeit verschiedener Filtergranulate geprüft. Die beste Kombination wird inzwischen zur Reinigung von kupferbelastetem Dachabwasser eingesetzt, zum Beispiel im Gebäude der Rechtswissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich, das von Santiago Calatravo umgebaut wurde (kleines Bild oben).



In diesem Schacht wird das Dachabwasser einer neuen Überbauung gesammelt, deren Dächer mit Kupferblech gedeckt sind. Zwölf mit Granulat gefüllte Filterpatronen können einzeln ausgewechselt werden. Sie reinigen das Wasser, bevor es in einen kleinen Bach geleitet wird.



Einsetzen der Filterpatronen mit Eisenhydroxid und Kalksand am Grund des Regenwasserschachts.



Patrice Goosse, Mitarbeiter der jungen, im Zürcher Technopark eingemieteten Firma, prüft die Messresultate. Sie geben Auskunft über den Wirkungsgrad des Filtergranulats, der über 98 % beträgt. Unten: Im Gespräch erläutern Goosse und Steiner das System.

### Vom Doktorand zum Unternehmer

«Die einfachste Lösung der Kupferproblematik liegt auf der Hand», sagt Michele Steiner: «auf die grossflächige Verwendung von Kupfer und Zink für Dächer und Fassaden verzichten.» Doch es gibt Orte, wo das nicht möglich ist oder Kupfer von Architekten und Bauherren ausdrücklich gewünscht wird. Grössere Kupferflächen machen heute einen Filter unerlässlich, da die Qualitätsziele für Fließgewässer sonst nicht eingehalten werden können. Die Eawag hat daher nach einer einfachen Möglichkeit gesucht, das Kupfer aus dem Dachabwasser zu entfernen. Steiner hat in seiner Doktorarbeit unter Leitung von Prof. Markus Boller daran mitgearbeitet und sah danach eine Chance, sein Know-how mit Gewinn in die Praxis zu bringen. Mit seiner Firma wst21 und einem Partner aus der Baubranche entwickelte er das System des Aufnahmeschachts mit austauschbaren Filterpatronen, die zum Patent angemeldet sind.

So wie Steiner wagen immer mehr Doktorandinnen und Doktoranden oder andere Forschende den Schritt in den freien Markt. Die Eawag unterstützt solche Initiativen so weit wie möglich. Sie ist zu diesem Zweck auch Mitglied im Verein «glaTec». Das 2008 von der Empa in Dübendorf gegründete Zentrum fördert als «Business Incubator» die Ansiedlung innovativer Jungunternehmen im Bereich Material- und Umwelttechnologien.

# Wasser

## Aquatische Ökosysteme

# Lebe

FORSCHEN

## Neugier allein genügt nicht

**Lukas Indermaur** hat an der Universität Bern Biologie studiert und von 2004 bis 2008 an der Eawag seine Dissertation erarbeitet. In der wilden Auenlandschaft des norditalienischen Flusses Tagliamento hat er sich mit der Ökologie von Amphibien beschäftigt. Diese ist insbesondere an Land bisher kaum untersucht, da die Tiere dort ein sehr gut verstecktes Leben führen (Beitrag S. 27).

Für Indermaur war es faszinierend, als möglichst neutraler Beobachter und Analytiker unterwegs zu sein. Doch ebenso viel hat er in das Aushecken der Experimente

und deren technische Durchführung investiert: «Nur das Fragenstellen allein macht noch keinen Forscher», sagt er. «Die Qualität von Forschungsprojekten», so ist der Gewässerökologe überzeugt, «steht und fällt mit der eingesetzten Arbeitskapazität.»

Obwohl er selbst für seine Projekte öfters Tag und Nacht im Einsatz stand, betont er, dass der Erfolg nur dank zahlreicher Helfer und dem in der Wissenschaft selbstverständlichen Austausch mit anderen Forschern auf der ganzen Welt möglich wurde. In dieser Hinsicht, so Indermaur, sei auch die Eawag selbst sehr attraktiv für Wissenschaftler, «weil hier alle Kompetenzen rund ums Wasser unter einem Dach vereinigt sind und vernetzte Projekte gefördert werden.»



**Im Spannungsfeld zwischen Nutzung und Schutz der Ressource Wasser erforschen wir an der Eawag aquatische Ökosysteme und entwickeln Lösungen für ein nachhaltiges Wasser- und Gewässermanagement. Wir untersuchen die Auswirkungen menschlicher Eingriffe und der Klimaänderung auf Menge und Qualität des Wassers und liefern wissenschaftliche Grundlagen für erfolgreiche Revitalisierungsprojekte. Neben den Arten und ihren Lebensräumen im und am Wasser nehmen wir vor allem auch die genetischen und evolutionären Gründe für die Artenvielfalt unter die Lupe.**

## LEHREN

### Der Evolution auf der Spur

**Ole Seehausen** ist Professor für Aquatische Ökologie und Evolution an der Universität Bern und leitet an der Eawag die Abteilung für Fischökologie und Evolution. Unter anderem erforscht er, wie sich die natürlichen oder



vom Mensch verursachten Veränderungen der Lebensbedingungen auf Werden und Vergehen von Arten auswirken. 2008 konnte er mit einem Artikel zur Artentstehung über die verschiedene Ausbildung von Sinnesorganen bei Buntbarschen

eine Arbeit als Titelgeschichte in «Nature» veröffentlichen (Beitrag S. 22). Obwohl der Biologe also ein «Vollblutforscher» ist, widmet er der Lehre und der Betreuung von Doktoranden mehr als die Hälfte seiner Arbeitszeit – eine lästige Pflicht? «Nein», sagt Seehausen entschieden, «es macht Spass, wenn ich merke, dass ich junge Leute mit meinem Forschereifer anstecken kann. Und ich selbst lerne dabei am meisten.» Die Lehre sei die beste Methode, besser zu verstehen, woran er arbeite. «Die unvoreingenommenen Fragen von Studentinnen und Studenten zwingen mich, meine Ansichten laufend zu prüfen. Ohne Lehre verliert die Forschung ihre Bodenhaftung», sagt er. Genauso katastrophal ist in seinen Augen der umgekehrte Fall: «Professoren, die nur noch aus ihrem vor 25 Jahren geschriebenen Lehrbuch vorlesen, kommen bei den Studierenden schlecht an», weiss Seehausen.

## BERATEN

### DIE Anlaufstelle für Angler

**Susanne Haertel-Borer** leitet zusammen mit ihrem französischsprachigen Kollegen Guy Périat die an der Eawag angesiedelte Schweizerische Fischereiberatungsstelle FIBER. Fischer, Fischereiverantwortliche und andere Interessierte erhalten bei der promovierten Biologin Informationen

zu den Themen Gewässer, Fische und fischereiliche Bewirtschaftung.

Die Stelle wird nebst der Eawag auch vom Bundesamt für Umwelt und dem Schweizerischen Fischereiverband unterstützt. Oft ist Haertel-Borer unter-



wegs und hält bei Fischereivereinen Vorträge, leitet Seminare oder bringt ihr Fachwissen vor Ort an Gewässern mit ein. «Die Chancen von FIBER liegen im direkten Wissenstransfer von der Forschung in die Verwaltung und die Praxis», sagt Haertel-Borer. «Dank der Vernetzung mit der Eawag erfahren wir Neues aus dem In- und Ausland aus erster Hand und können es rasch weitervermitteln und umgekehrt Fragen aus der Praxis in die Forschung einspeisen.» Und warum ausgerechnet die Fischer? «Sie sind wichtige Akteure an den Gewässern», sagt Haertel-Borer. «Ihre regelmässige Präsenz an den Flüssen unterstützt das Monitoring und sie setzen sich auf vielfältige Art für die Gewässer ein. Weil sie gut organisiert sind und unter anderem auch Jugendarbeit leisten, müssen sie ihrerseits oft Auskünfte geben zu Gewässerfragen.» [www.fischereiberatung.ch](http://www.fischereiberatung.ch)



# Der Mensch beeinflusst Werden und Vergehen von Arten

**Weibliche Buntbarsche aus dem Viktoriasee, die in Anpassung an das Licht im flachen Wasser besser Blau sehen, wählen einen schillernd blau gefärbten Sexualpartner. Wer sich an das Licht in grösseren Tiefen angepasst hat und eher auf Rot eingestellt ist, bevorzugt ein leuchtend rotes Männchen. Diese Vorlieben können so stark sein, dass sich neue Arten bilden – vorausgesetzt, die Vielfalt der Lebensräume wird nicht vom Menschen reduziert. Einen ähnlichen Prozess haben Wissenschaftler der Eawag im Schweizer Vierwaldstättersee beobachtet: In Anpassung an verschiedene Tiefenbereiche haben sich hier mehrere Felchenarten gebildet – darunter eine bisher unentdeckt gebliebene Art.**

Auf die Frage, welche Rolle die Selektion bei der Bildung neuer Arten spielt, hält die Evolutionsbiologie nach wie vor erst wenige Antworten bereit. Die in wenigen tausend Jahren – eine kurze Zeit in der Evolution – erfolgte Entwicklung von sehr farbenfrohen Barscharten in afrikanischen Seen stützt die These, dass sexuelle Auslese, also Selektion durch die Wahl der Geschlechtspartner, zur Artbildung beiträgt, und zwar auch ohne dass Populationen räumlich voneinander isoliert werden. Die Vermutung liegt nahe, dass die Selektion im Fall der afrikanischen

Buntbarsche auf eine unterschiedliche Wahrnehmung der Farben zurückzuführen ist. Jetzt liefert eine vielbeachtete Studie erstmals Beweise für diese Annahme.

## **Sehen und gesehen werden**

Evolutionsbiologe Ole Seehausen (Eawag und Universität Bern) und seine Mitautoren weisen in ihrer Arbeit nach, dass Buntbarschweibchen aus dem Viktoriasee, deren Augen besser auf Blau eingestellt sind, eher blaugefärbte Männchen suchen. Weibchen, deren Rezeptoren das rote Farbspektrum besser erkennen, wählen Männchen im roten Hochzeitskleid. Die unterschiedlichen Pigmente in den Rezeptoren in den Augen konnte das Team anhand ihrer DNA- und Protein-Sequenzen unterscheiden. Die

Mit verschiedenen Netzen konnten Felchen gezielt aus bestimmten Tiefen des Vierwaldstättersees gefischt werden, unter ihnen auch eine neu entdeckte Art. Biologisch betrachtet, sind alle Felchenarten jung, da sie erst seit der letzten Eiszeit entstanden sind. Nicht immer verläuft also Evolution in so grossen Zeitspannen wie beim Quastenflosser (unten), den es schon vor 400 Millionen Jahren gab. (Fotos: Baenz Lundsgaard-Hansen, Andri Bryner)

Bilder: Ole Seehausen, Eavag



Die Männchen der Buntbarscharten *Pundamilia nyererei* (links) und *Pundamilia pundamilia* haben ihr Hochzeitskleid dem eher rötlichen oder blauen Umgebungslicht ihres Lebensraums und der entsprechenden Empfindlichkeit der weiblichen Augen angepasst.

DNA-Sequenz der Gene, die den Sehproteinen zugrunde liegen, zeigt ausserdem, dass die Spezialisierung kein Zufall ist, sondern ihrerseits unter natürlicher Selektion entstand: Je nach Wassertiefe, in welcher sich die Fische aufhalten, ist die Empfindlichkeit im Farbsehen unterschiedlich. Fische im tieferen Wasser sehen Rot besser, solche im flachen Wasser Blau. Dank dieser Anpassung ihrer Rezeptoren an die vorherrschende Lichtfarbe in der Umgebung verschaffen sich die Fische in einem bestimmten Tiefenbereich einen Vorteil. Sie können sich dort besser orientieren und finden zum Beispiel mehr Nahrung als ein weniger gut angepasster Artgenosse.

Gleichzeitig haben die Männchen offensichtlich ihr Hochzeitskleid an diese Situation angepasst: Im tieferen Wasser dominieren Männchen, die zur Fortpflanzungszeit rote Hochzeitsfarben ausbilden, im flachen Wasser solche mit blauen Farben.

Neue Arten entstehen, wenn das Lichtspektrum mit der Wassertiefe nur langsam ändert. So bleibt genügend Raum für Populationen, die an die Lichtbedingungen angepasst sind, und gleichzeitig gibt es eine gewisse räumliche Trennung der Populationen, was die genetische Differenzierung erleichtert. Im Fall des Viktoriasees finden sich solche Verhältnisse an flachen bis mittelsteilen Ufern mit relativ klarem Wasser.



Vermessung und Dokumentation der Buntbarsche am Viktoriasee.

### Erklärung für drastischen Artenrückgang

Die neuen Resultate zeigen aber nicht nur einen Weg der Artentstehung auf, sie liefern auch eine plausible Erklärung für den immensen Einbruch der Artenvielfalt, der im Viktoriasee in den letzten 25 Jahren stattgefunden hat. Die von der Landwirtschaft, der Entwaldung und den umliegenden Städten verursachte Überdüngung des Sees hat nämlich die Trübung stark gefördert. Das führt dazu, dass sich die Lichtverhältnisse an vielen Orten schon innerhalb des obersten Meters Wassertiefe drastisch ändern. Die unterschiedlichen ökologischen Nischen kommen dann räumlich so nah beieinander zu liegen, dass der Mechanismus der differenziellen genetischen Anpassung nicht mehr spielen kann. So fanden die Autoren, dass an Orten mit trübem Wasser statt einer roten und einer blauen Art nur eine Zwischenform bestehen kann, die an keine der Lichtnischen speziell angepasst ist. Eine solche von Umweltveränderungen ausgehende Auflösung der Arten hat mit grosser Wahrscheinlichkeit viel dazu beigetragen, dass innert weniger Generationen von über 500 Buntbarscharten im Viktoriasee heute nur noch rund 250 Arten existieren.

## Vierwaldstättersee: Neue Felchenart entdeckt

Biologe Bänz Lundsgaard-Hansen und seine Kollegen aus der Forschungsgruppe von Ole Seehausen haben im Vierwaldstättersee eine neue Felchenart entdeckt. Sie nennen sie inoffiziell «Schwebbalchen». Bekannt waren im Vierwaldstättersee bis anhin vier Arten von Felchen, Balchen *Coregonus suidteri*, Albeli *Coregonus zugensis*, Edelfisch *Coregonus nobilis* und die noch unbeschriebenen Alpnacher Felchen. Auf den Namen Schwebbalchen sind die Evolutionsbiologen der Eawag gekommen, weil die Art in einer Tiefe von 10 bis 30 m heimisch ist – genau zwischen den Lebensräumen des grossen Balchens, der Tiefen bis 10 m bevorzugt, und der kleineren Albeli, die in Tiefen um 40 m leben und laichen. Die Berufsfischer hätten zum einen in diesen mittleren Tiefen wenig gefischt und zum anderen die neue Art wohl als junge und kleinere Balchen identifiziert, erklärt Lundsgaard-Hansen die Tatsache, dass die Art bisher unbemerkt geblieben ist, obwohl sie in grosser Zahl gefunden wird.

### Nicht aus anderem See eingeführt

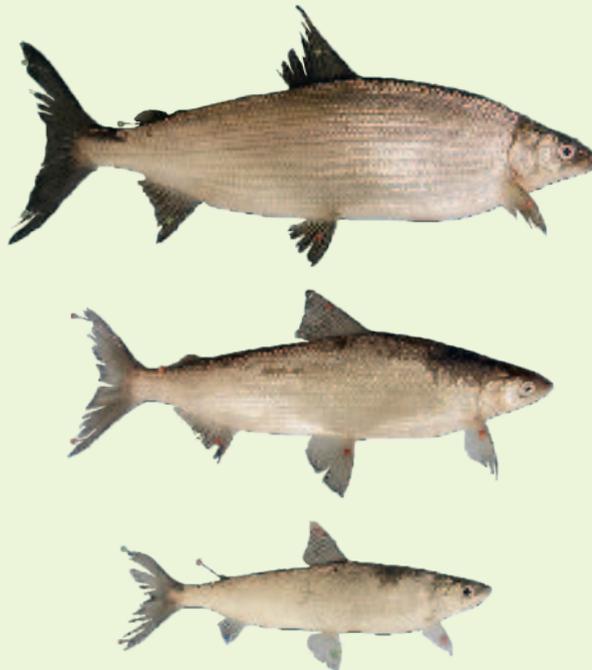
Als eigenständige Art bestimmt wurden die Schwebbalchen durch eine genaue Vermessung ihrer Körperform anhand 14 verschiedener Merkmale sowie durch genetische Analysen. Beide Verfahren zeigen, dass sie zwar eng mit den Balchen und den Albeli aus dem Vierwaldstättersee verwandt, aber doch deutlich differenziert sind. Der Vergleich mit Felchen aus anderen Seen der Schweiz ergab dagegen weniger Übereinstimmung. Es handelt sich also nicht, wie ursprünglich vermutet, um eine Art, die aus einem anderen See in den Vierwaldstättersee eingeführt wurde.

### Vermehrt Mischlinge

Ähnlich wie bei den Buntbarschen im Viktoriasee reagieren auch Felchenarten auf Überdüngung der Seen mit zunehmender Vermischung (Hybridisierung), wie die Forscher der Eawag anhand einer noch unveröffentlichten grossen Datenreihe, zusammengetragen von Pascal Vonlanthen und anderen, zeigen können. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts gelangten durch Abwässer und Landwirtschaft mehr Nährstoffe in den Vierwaldstättersee.

**Es ist faszinierend, dass es auch hier in der Schweiz noch neue Arten zu entdecken gibt und nicht nur in den Tropen.**

Im tieferen Wasser wurde der Sauerstoff knapp. Die Albeli mussten daher in seichtere Zonen ausweichen und kamen so den Schwebbalchen und Balchen im wahrsten Sinne des Wortes näher. Ob diese verstärkte Vermischung der drei Arten längerfristig zu einer einzigen neuen «Hybridart» führt, kann heute noch nicht gesagt werden. Die Chance, dass sich alle drei Arten im Vierwaldstättersee halten können, ist aber deutlich gestiegen, seit der See wieder sehr sauber und in allen Tiefen gut mit Sauerstoff versorgt ist. So können heute die Albeli wieder in grösseren Wassertiefen laichen. In anderen grossen Seen der Schweiz kam die Verbesserung der Wasserqualität aber wahrscheinlich zu spät. Die Ergebnisse sind nicht nur für das Verständnis über Werden und Vergehen von Arten von Interesse, sondern sind auch Grundlage für eine nachhaltige fischereiliche Bewirtschaftung des Sees.



Balchen, Schwebbalchen und Albeli (von oben) aus dem Vierwaldstättersee.

### Was ist eine Art?

Die Evolutionsbiologie kennt verschiedene Artkonzepte. Allen gemeinsam ist, dass Populationen von Organismen dann verschiedenen Arten zugeordnet werden, wenn sie in der Natur über viele Generationen am selben Ort koexistieren ohne genetisch miteinander zu verschmelzen. Viele Arten kreuzen sich gelegentlich, bleiben aber differenziert, solange es Mechanismen gibt, die den Genfluss

gering halten. Die Definition der Art als Gruppe von Individuen, die sich mit solchen anderer Arten nicht kreuzen können, ist überholt. ○○○

#### Kontakt:

Prof. Dr. Ole Seehausen, ole.seehausen@eawag.ch  
Dr. Bänz Lundsgaard-Hansen, baenz.lundsgaard@eawag.ch

# Viele Nischen schaffen Platz für viele Arten

**Verschiedene Amphibienarten nutzen dieselben Lebensraumtypen im Wasser und an Land. Dennoch verdrängen sie sich nicht gegenseitig, weil sie ihre Nischen je nach Umweltbedingungen ganz unterschiedlich nutzen. Das ermöglicht hohe Artenvielfalt auf kleinem Raum. Entscheidend ist, dass eine grosse Vielfalt an Strukturen und Umweltbedingungen geschaffen und erhalten wird, zum Beispiel durch Hochwasser.**

Wenn sich zwei Arten im selben Raum auf unterschiedliche Umweltbedingungen spezialisieren, spricht man von Nischendifferenzierung. Unterschiedliche Nutzung des Nahrungsangebots oder Spezialisierung auf einen bestimmten Bereich von Luftfeuchte und Temperatur kann Konkurrenz zu anderen Arten mindern. Das ist die Voraussetzung für hohe Artenvielfalt auf kleinem Raum. So weit die Theorie. Insbesondere über das Nebeneinander von Organismen mit so komplexen Lebenszyklen wie bei den Amphibien ist noch sehr wenig bekannt.

Ein Eawag-Team hat daher über einen Zeitraum von vier Jahren hinweg untersucht, wie Amphibien ihre Lebensräume im Wasser und an Land nutzen. Die Studie wurde am unregulierten Tagliamento im italienischen Friaul durchgeführt. Diese Wildflusslandschaft mit Auenwald und – je nach Wasserstand – kilometerbreitem Flussbett gehört zu den letzten grossen ursprünglichen Amphibienlebensräumen in Europa.

Diese Wildflusslandschaft mit Auenwald und – je nach Wasserstand – kilometerbreitem Flussbett gehört zu den letzten grossen ursprünglichen Amphibienlebensräumen in Europa.

## Lieber flach oder tief?

Wir untersuchten die Laichgewässernutzung von zwei Kröten- und zwei

Froscharten. Gleichzeitig erfassten wir Umweltfaktoren wie die Dichte von Fressfeinden, Wassertiefe und Temperatur. Alle vier beobachteten Amphibienarten bevorzugten weitgehend dieselben Laichgewässertypen, nutzen diese aber unterschiedlich: Zum Beispiel zieht es beide Krötenarten grundsätzlich zu grossen Laichgewässern; die Wechselkröte nutzt aber kleinere Laichgewässer deutlich intensiver als die Erdkröte. Oder die Wassertiefe: Die Wechselkröte laicht mit hoher Wahrscheinlichkeit in sehr seichten Gewässern (5–10 cm), der Italienische Springfrosch in tiefen Gewässern ( $\geq 50$  cm).

## Wer wagt, gewinnt

Die Wahl der Laichgewässer beeinflusst das Larvenwachstum und die Nachkommenproduktion. Erdkrötenlarven beendeten die Metamorphose in Gewässern des Flussbetts drei Wochen früher als im Auenwald. Die Zahl der Jungtiere (Metamorphlinge)

pro Quadratmeter Laichgewässer betrug im Durchschnitt 489 im offenen Schotterbereich gegenüber 12 im Auenwald. Zudem waren Metamorphlinge im Flussbett tendenziell grösser als im Auenwald. Grosse und warme Gewässer im Flussbett bieten beste Wachstumsbedingungen. Der Hauptgrund dafür dürften die regelmässigen Geschiebeumlagerungen sein, welche die Dichte an Räubern und Fressfeinden im Flussbett viel effektiver reduzieren als im besser geschützten Auenwald. Laichgewässer im Flussbett sind allerdings eine gewagte Wahl, weil bei Hochwasser zur falschen Zeit die Vermehrung ganz ausbleibt. Auenwaldgewässer produzieren zwar weniger Nachkommen, dafür konstant; sie können als «Rückversicherung» dienen. Für das Wachstum einer ganzen Population in dynamischen Lebensräumen ist es deshalb zentral, dass Laichgewässer sowohl im Flussbett als auch im Auenwald erhalten werden.

**Die Arbeit hilft uns für unsere Programme, z. B. durch den Nachweis, wie wichtig das Schwemmholz ist.**

Silvia Zumbach, Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz, karch

## Komplexer Lebenszyklus

Der Lebenszyklus von semi-aquatischen Amphibien gehört zu den komplexesten im Tierreich. Im Wasser erfolgt die Entwicklung der Eier und Larven. Larven der Erdkröten schlüpfen in 2–3 Wochen aus dem Ei, Larven der Wechselkröte in 3–6 Tagen. Die Metamorphose schliesst die mehrmonatige Larvalentwicklung ab. Jungtiere (Metamorphlinge) und Erwachsene der meisten Arten übersommern und überwintern versteckt im terrestrischen Lebensraum, wo sie den Grossteil ihrer Zeit verbringen.



Typisches Laichgewässer im Flussbett.



Schwemmholz bietet Schutz vor dem Austrocknen, ist Jagdrevier und trägt dazu bei, dass neue Lebensraumtypen entstehen.

### Minisender verraten Verstecke

Im Sommerlebensraum suchen Amphibien Schutz vor Austrocknung und Feinden und jagen nach Beute. Wie Umweltfaktoren – Temperatur, Lebensraumtyp, Dichte von Beute und Konkurrenten usw. – die Tiere in der Wahl ihrer Aufenthaltsorte beeinflussen, ist weitgehend unbekannt. Entsprechend wurde Nischendifferenzierung im Landlebensraum bisher nicht nachgewiesen, was auch mit der versteckten Lebensweise der Amphibien zusammenhängt. Wir wollten wissen, ob Nischendifferenzierung auch im Sommerlebensraum das Nebeneinander zweier gemeinsam vorkommender Krötenarten ermöglicht. Dazu rüsteten wir 56 Erd- und 59 Wechselkröten mit Minisendern aus. Sie wurden extern um die Hüfte der Tiere befestigt und nach Abschluss der Studie wieder entfernt. Über Wochen suchten wir – oft nächtelang vergeblich –, bis wir diese Zahl an «Forschungskandidaten» zusammenhatten. Danach konnten wir den Kröten mit Peilantennen und Empfangsgeräten Tag und Nacht auf den Fersen bleiben.

### Beliebtes Schwemmholz

Beide Krötenarten hielten sich weitgehend in denselben Lebensraumtypen auf (Grafik), wobei Schwemmholzhaufen gemessen an ihrer Verfügbarkeit deutlich überproportional genutzt wurden. Schwemmholz spielt im Sommerlebensraum offenbar eine Schlüsselrolle. Drei Gründe sprechen dafür:

► Die statistische Auswertung zeigt: Anzahl und Grösse der Schwemm-

holzhaufen bestimmen bei beiden Kröten die Ausdehnung des Sommerlebensraums wesentlich mit.

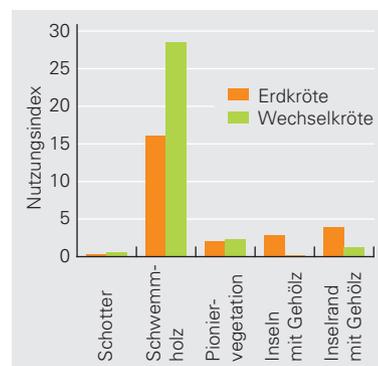
► Im offenen und heissen Schotterbereich – wir massen bis 46 °C – ist Schwemmholz oft die einzige Struktur, die Pionierarten wie der Wechselkröte Schutz vor Austrocknung und Räubern bietet.

► Schwemmholz begünstigt die Entstehung anderer Lebensraumtypen (Pioniervegetation, Inseln, Kolkdümpel). Es trägt somit wesentlich zu einer strukturreichen Aue bei.

Mit Hilfe der Felddaten und Computersimulationen zeigten wir zudem auf, dass beide Krötenarten zwar dieselben Lebensraumtypen nutzen, aber aus verschiedenen Gründen: Schwemmholzhaufen zum Beispiel werden von der Wechselkröte aufgrund tiefer Temperaturen zur Regulation der Körpertemperatur genutzt, von der Erdkröte hingegen zur Jagd. Das Schwemmholzangebot ist abhängig von einem intakten Auenwald und natürlicher Hochwasserdynamik.

### Dynamik zentral

Unsere Arbeit weist Nischendifferenzierung von Amphibien sowohl im Larvenstadium als auch bei erwachsenen Tieren nach. Damit liefert sie eine Erklärung, wie Arten mit komplexen Lebenszyklen nebeneinander leben können. Erstaunlich ist, dass die Resultate über die Nutzung der Lebensräume im Wasser und an Land zum selben Schluss führten: Natürliche Hochwasserdynamik erhält



Nutzungsindex als Verhältnis der Nutzungsintensität zur Verfügbarkeit des jeweiligen Lebensraumtyps. Die Grafik basiert auf 2500 Peilungen bei der Wechselkröte und über 3000 Peilungen bei der Erdkröte.



Wechselkröte (links) mit 2-g-Sender und Erdkröte mit 5-g-Sender.



Mit Peilantenne und Empfänger konnten die mit Sendern ausgerüsteten Amphibien Tag und Nacht aufgesucht werden.

offene und strukturreiche Lebensräume, welche für anspruchsvolle Pionierarten, aber auch für Allerweltsarten geeignet sind. Strukturreiche Lebensräume sind durch vielfältige Umweltbedingungen gekennzeichnet wie zum Beispiel grosse Unterschiede bezüglich Temperatur, Räuberdruck und Nahrungsangebot. Das ist die wichtigste Voraussetzung für Koexistenz und folglich lokal hohe Artenvielfalt. Grossräumige Flussrevitalisierungen bergen deshalb enormes Potenzial zur Förderung von Amphibien im aquatischen und terrestrischen Lebensraum. Oberste Priorität haben muss die Wiederherstellung einer natürlichen Gewässerdynamik unter Einbezug des Auenwaldes. ○○○

#### Kontakt:

Dr. Lukas Indermaur,  
lukas.indermaur@eawag.ch

Prof. Dr. Jukka Jokela,  
jukka.jokela@eawag.ch

# Erfolgreiche Invasion der Schweiz

**Bis vor gut hundert Jahren war der Dreistachlige Stichling in der Schweiz auf die Region Basel beschränkt. Danach breitete er sich rasant über die ganze Schweiz aus und entwickelte eine erstaunliche Vielfalt. Die Kombination verschiedener Abstammungslinien hat ihn offensichtlich sehr erfolgreich gemacht.**

Wirtschaftlich nahezu bedeutungslos, findet man den gut 10 Zentimeter grossen Dreistachligen Stichling fast überall auf der Welt. In den letzten 15 000 Jahren spaltete sich der Dreistachlige Stichling ausserdem sehr schnell in viele verschiedene Arten auf. Obwohl sie genetisch nahe verwandt sind, unterscheiden sich diese Arten untereinander enorm im Aussehen, in den besetzten Lebensräumen und ihrem Verhalten. So bewohnen sie Süss- und Salzwasser, und während die marine Art zum Beispiel stark ausgeprägte Knochenplatten trägt, entwickelten sich diese im Süsswasser schrittweise zurück.

## Fühlt sich überall wohl

Diese erstaunliche Entwicklungsgeschichte kann auch in der Schweiz verfolgt werden. Als vor 10 000 Jahren die Gletscher den Flüssen Platz machten, drangen die marinen Vorfahren des Stichlings vom Atlantik über den Rhein bis in die Schweiz vor. Bis etwa 1870 blieb die Schweizer Population allerdings auf die Region Basel beschränkt. Danach breitete sie sich innert 100 Jahren invasiv über das ganze Land aus und entwickelte Populationen, die nicht

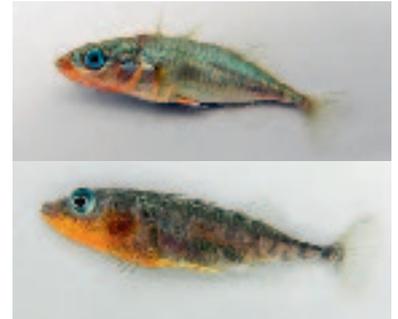
nur unterschiedlich aussehen, sondern auch unterschiedlichste Lebensräume bewohnen: von kleinen Bächen bis zum offenen Wasser der grössten Seen. Die grösste Vielfalt findet man in der Region um Bern und Neuenburg.

## Aufschluss dank Genanalyse

Wie es nach 1870 zur Invasion der Dreistachligen Stichlinge kam, konnte bisher nur vermutet werden. Es gilt als wahrscheinlich, dass ihm der Mensch dabei entscheidend zu Hilfe kam: Der Stichling ist ziemlich robust und hatte im Gegensatz zu seinen natürlichen Fressfeinden kaum Probleme mit der Verbauung und Kanalisierung der Gewässer. Die Eawag ist nun der Entwicklungsgeschichte des Stichlings mit genetischen Methoden auf die Spur gekommen. An 23 Orten wurden Hunderte von Stichlingen gefangen. Deren genetische Fingerabdrücke und ihre äusseren Merkmale wurden untereinander sowie mit europäischen Referenzpopulationen verglichen, bis für die Schweizer Stichlinge ein genetischer Stammbaum erstellt werden konnte.

## Aussetzungen mit Folgen

Es zeigte sich, dass die heutige Stichlingspopulation in der Schweiz offenbar nicht nur auf eine, sondern gleich auf drei Abstammungslinien zurückgeht. Die erste Linie stellt die Population rund um Basel dar. Eine zweite wird gebildet von um 1870 im Raum Genf ausgesetzten Individuen aus dem Rhonesystem Südfrankreichs. Die dritte Linie geht auf Tiere zurück, die etwa zur gleichen Zeit in der Nähe des Bodensees im Rhein ausgesetzt wurden und die ursprünglich aus dem baltischen Raum stammen. Evolutionsbiologe Kay Lucek hat dazu auch historische Überlieferungen geprüft. Die Ergebnisse stimmen gut überein –



Zwei Männchen des Dreistachligen Stichlings, oben ein Vertreter aus dem Rhein bei Basel, unten ein «Mischling» aus der Aare bei Bern.

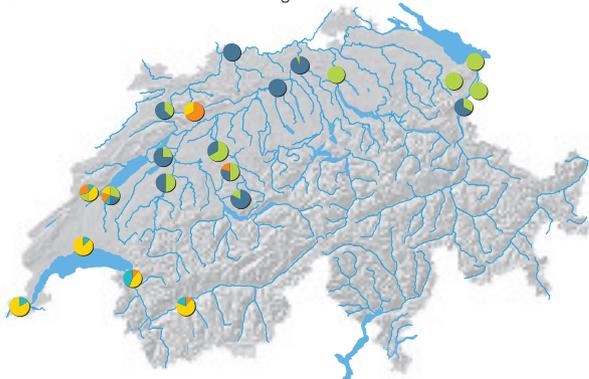
wahrscheinlich handelte es sich um Aquarienfische.

## Viele Kombinationsmöglichkeiten bringen Erfolg

In der Region um Neuenburg und Bern, wo sich die drei Linien treffen, fanden die Forscher eine besonders grosse Vielfalt – sowohl genetisch als auch im Aussehen der Fische. Den Nachkommen standen in diesen «Hybridzonen» die vererblichen Eigenschaften von drei verschiedenen evolutionären Linien zur Verfügung. Kay Lucek ist überzeugt: «Das hat die rasante Evolution gefördert und dazu geführt, dass der Stichling innert kürzester Zeit so zahlreiche und verschiedenartige Lebensräume erfolgreich besiedeln konnte.»

Die Hybridzonen des Stichlings sind zudem ein gutes Beispiel dafür, dass Biodiversität auch wieder zunehmen kann, nachdem sie vorübergehend dezimiert war, in diesem Fall durch die Eiszeit. Der Vergleich der Hybridzonen mit Gebieten, wo nur eine Abstammungslinie vorkommt, soll künftig helfen, die Mechanismen der invasiven Ausbreitung noch besser erklären zu können. ○ ○ ○

- Ursprüngliche, über den Rhein eingewanderte Art
- ● Aus der südlichen Rhone eingeführt
- Aus dem baltischen Raum eingeführt



Die verschiedenen Abstammungslinien des Dreistachligen Stichlings. Gut sichtbar ist, dass es in der Region Bern–Neuenburg zu einer Mischzone gekommen ist. (Kartenbasis © swisstopo)

Kontakt:  
Kay Lucek, kay.lucek@eawag.ch

# Schwall-Sunk macht Fischen Schwierigkeiten

**Mit Hilfe von Radiosendern hat die Eawag am Alpenrhein die Wanderung der bedrohten Seeforellen untersucht. Bis über 100 Kilometer steigen die Fische aus dem Bodensee ins Bündnerland zu ihren Laichgründen auf. Doch die schwallweise Wasserrückgabe der Kraftwerke macht ihnen zu schaffen.**

Als Folge der bedarfsgesteuerten Stromproduktion erzeugen in der Schweiz rund ein Drittel der grösseren Wasserkraftwerke Schwall und Sunk. Darunter wird ein rascher und wiederkehrender künstlicher Wechsel der Abflussmengen in einem Fließgewässer verstanden. Für die Gewässerökologie sind dabei oft nicht die Minimal- oder Maximalabflüsse ein Problem, sondern das tägliche An- und Abschwollen der Strömung innert kurzer Zeit. Die Folgen sind in jedem vierten der mittleren und grösseren Fließgewässer spürbar.

Die stärksten Auswirkungen hat der Schwallbetrieb dort, wo sich Land und Wasser treffen. In einem ungestörten Gewässer sind periodisch überflutete Zonen nämlich Bereiche mit hoher Artendichte und -vielfalt. Bei Schwallbetrieb ist die Wasserwechselzone hingegen sowohl für aquatische als auch terrestrische Organismen nur eingeschränkt als Lebensraum nutzbar. Kleintiere und Pflanzen werden immer wieder abgeschwemmt. Das hat das Eawag-Projekt Rhone-Thur (2002–2006) gezeigt. Nun hat sich die Eawag am Alpenrhein näher mit den Auswirkungen

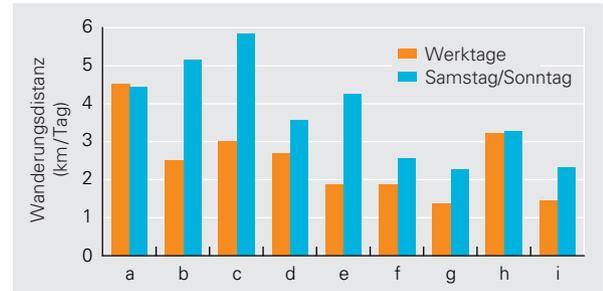
von Schwall-Sunk auf die Fische befasst, insbesondere am Beispiel der Seeforellen.

## Wandern am Wochenende

Seit im Jahr 2000 am Kraftwerk Reichenau eine Fischtreppe eingebaut wurde, steigen die stark bedrohten Seeforellen aus dem Bodensee rheinaufwärts wieder bis weit in den Vorder- und Hinterrhein hinauf, um zu laichen. Das hat die Eawag nachgewiesen mit Fischen, denen kleinste Radiosender eingepflanzt wurden. Die längste beobachtete Wanderung einer Seeforelle zwischen Bodensee und Laichplatz betrug 126 Kilometer. Auffällig ist, dass die Fische an den Wochenenden, wenn der Abfluss nicht von Schwall-Sunk beeinflusst wird, deutlich grössere Distanzen zurücklegen als unter der Woche. Im Durchschnitt sind es am Wochenende 3,7 km/Tag, unter der Woche nur 2,5 km/Tag (siehe auch Fotos S. 32).

## Jungfische gefährdet

Trotz Schwall-Sunk haben sich die Seeforellen an ihren Laichplätzen auf natürliche Art vermehrt. Wenn aber später im Fluss die Dichte der Fische



Wanderungen von 9 Seeforellen (a–i): Am Wochenende, wenn kein Schwall-Sunk-Betrieb herrscht, werden deutlich höhere Distanzen zurückgelegt als unter der Woche.

im ersten Lebensjahr untersucht wurde, zeigten sich grosse Unterschiede auf Gewässerabschnitten mit und solchen ohne Schwall-Sunk-Effekten. Pro hundert Meter Uferlänge wurden auf Strecken ohne Schwall-Sunk

60 Forellen gefunden, in Strecken mit Schwall-Sunk gerade mal noch zwei. Jungfische scheinen also Mühe zu haben mit dem ständigen An- und Abschwollen des Abflusses, folgern die Forscher. Vor allem ein zu rascher Rückgang des Wassers ist problematisch, weil die Fische und auch andere Wasserorganismen dann auf den flachen Ufern oder in trocken fallenden Tümpeln stranden können. Die negativen Auswirkungen von Schwall-Sunk können teilweise begrenzt werden, zum Beispiel mit Rückhaltebecken bei Wasserkraftwerken. Zurzeit arbeitet der Bund an einer gesetzlichen Regelung des Problems, die Eingang finden soll ins Gewässerschutzgesetz. Eawag-Forschende wirken als Expertinnen und Experten daran mit. ○○○

**Problematisch ist vor allem der rasche Rückgang des Wassers, weil dann die Jungfische stranden.**



Schwallweise Wasserrückgabe unterhalb eines Wasserkraftwerks am Vorderrhein.

Kontakt:  
Dr. Armin Peter, armin.peter@eawag.ch

# Die letzten Geheimnisse vom Seegrund

**Derart detailgetreue Geländeaufnahmen vom Grund der Schweizer Seen gab es bisher nicht. Dank eines Sonarverfahrens mit mehreren Sendern und Empfängern werden Anrisse und Ablagerungen von unterseeischen Schlammlawinen, Baggerlöcher oder andere Strukturen auf dem Grund des Vierwaldstättersees in dreidimensionalen Abbildungen sichtbar, mit einer Genauigkeit im Zentimeterbereich.**

Der Limnogeologe Flavio Anselmetti ist begeistert: Derart detailgetreue Geländeaufnahmen vom Grund der Schweizer Seen gab es bisher nicht. Fünfzehn Tage lang ist ein Eawag-Team mit dem Forschungsschiff Thalassa auf dem Vierwaldstättersee hin und her gefahren und hat mit einem speziellen Sonar den Seegrund «abgetastet». Dank mehrerer Sender und Empfänger für das akustische Signal ergibt sich pro Messung eine Vielzahl von Tiefenwerten mit exakter Position. So können die Seetiefen bis auf wenige Zentimeter genau bestimmt und schliesslich mit dem Computer dreidimensionale Abbildungen des Grundes erzeugt werden. Viele Strukturen werden plötzlich sichtbar, im Urner Reussdelta zum Beispiel die Baggerlöcher des Unterwasserkiesabbaus.

## Spannende Geschichten

Spannend sind für die Forschenden die Geschichten von Schlammlawinen oder Bergstürzen. So ist zum Beispiel südlich von Weggis eine fast 6 Kilometer lange und 4–7 Meter hohe, scharfe Anrisskante einer grossen Rutschung sichtbar. Tiefer im

See liegen die Ablagerungen. Diese Rutschung, so weiss man, wurde 1601 von einem Erdbeben ausgelöst und hatte einen Tsunami zur Folge, der mit einer vier Meter hohen Wellenfront über den Vierwaldstättersee gerast ist. Zwischen Vitznau und Weggis sind die Trümmer eines grossen Bergsturzes zu erkennen, der vor rund 3000 Jahren von der Rigi in den See gedonnert ist. Die Erhebung südwestlich von Vitznau ist die Endmoräne aus Schutt, Schotter und Felsblöcken, welche der Reussgletscher am Ende der letzten Kaltzeit vor rund 15 000 Jahren zurückliess. Das Projekt hat auch bisher unbekannte Moränen aufgedeckt, die heute in den Seesedimenten begraben sind. Denn aufgrund von verdächtigen Oberflächenstrukturen, welche die neuen Daten zeigten, wurden gezielt reflexionsseismische Aufnahmen des Untergrundes gemacht.

## Risikomanagement

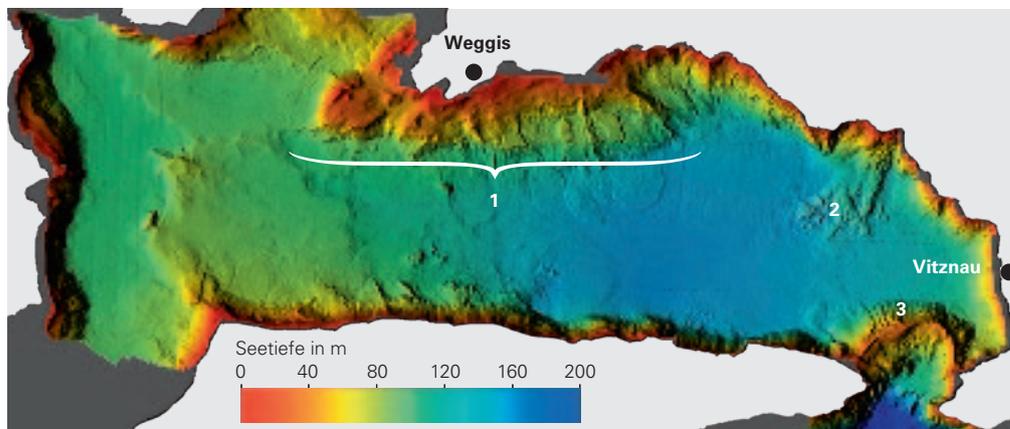
Die neuen Bilder können aber nicht nur Antworten auf Fragen geben, was früher geschah. Sie dienen den Erdbebenforschern und Sedimentologen auch für Prognosen: Wo heute

Ablagerungen an steilen Flanken sichtbar sind, könnte schon beim nächsten Beben der Seegrund ins Rutschen kommen.

## Überwachung der Geschiebezufuhr

Ein Nutzen der Aufnahmen liegt in der Überwachung der Geschiebezufuhr in die Seen. Denn ändert sich mit dem Klimawandel die Wasserführung der Bäche, verändern sich auch Geschiebetransport und Ablagerungen. Die Unterwasser-Baggerlöcher im Reussdelta zeigen, dass die exakten Aufnahmen für ein Monitoring des Kiesabbaus eingesetzt werden könnten. Interesse angemeldet haben zudem die Archäologen. Sie erhoffen sich von den Bildern Hinweise auf frühe Siedlungen, als die Seespiegel noch tiefer lagen.

Die neue «Vermessung» ist erst ein Pilotprojekt. Es kam dank Unterstützung durch den Geologischen Dienst Norwegens und durch die Universität aus dem belgischen Gent zustande. Finanziert wurde es unter anderem von swisstopo (Bundesamt für Landestopografie), dem Bundesamt für Umwelt und dem Departement für Verteidigung und Bevölkerungsschutz. Dass swisstopo Interesse hat an den Daten, liegt auf der Hand. Die neuen Daten sind um ein Vielfaches genauer als die bisher in den Landeskarten verzeichneten Höhen- bzw. Tiefenlinien in den Seen. Denn diese basieren zumeist auf einfachen, über 50 Jahre alten Lotmessungen. ○ ○ ○



Chrüztrichter und Vitznauer Becken des Vierwaldstättersees. (1) Anrisskante der grossen Rutschung von 1601 (am Übergang von Orange zu Gelb). (2) Trümmer eines Rigibergsturzes um 1000 v. Chr. (3) Vor rund 15 000 Jahren abgelagerter Moränenwall des Reussgletschers.

Kontakt:  
Dr. Flavio Anselmetti,  
flavio.anselmetti@eawag.ch

# Planen, was den Bächen am meisten bringt

**Viele Schweizer Fliessgewässer sind verbaut. Für ihre erfolgreiche Aufwertung ist eine gezielte Planung nötig. Die von der Eawag und dem Bundesamt für Umwelt entwickelte Methodik «Ökomorphologie Stufe S» zeigt die einzelnen Planungsschritte auf. Ergebnis ist ein Massnahmenkonzept, das darlegt, wie mit den verfügbaren Mitteln eine möglichst grosse Aufwertung erreicht werden kann.**

Kanalisation, Abwassereinleitung, Kraftwerksbetrieb – die Mehrzahl der Schweizer Fliessgewässer ist stark vom Menschen beeinflusst. Die umfangreichen Untersuchungen mit der Methode «Ökomorphologie Stufe F» des Modul-Stufen-Konzepts (siehe Kasten) belegen dies deutlich: Ein Viertel aller Fliessgewässer verfügt über eine naturfremde oder stark beeinträchtigte Struktur oder ist eingedolt. Unterhalb 600 m ü.M. sind es sogar 50 %. Daneben beeinträchtigen 88 000 künstliche Schwellen und Wehre von mehr als 50 cm Höhe die Fischwanderung.

Das Potenzial für Aufwertungsmassnahmen ist hoch. Wo aber sind Aufwertungen besonders dringlich? Und wo erreicht man mit welchen Massnahmen am meisten? Hier knüpft die an der Eawag erstellte Methode «Ökomorphologie Stufe S» an.

## Von der Defizitanalyse zum Massnahmenkonzept

Im Gegensatz zur Stufe F ist die Methode der Stufe S nicht für die flächendeckende Anwendung über einen ganzen Kanton vorgesehen. Vielmehr eignet sie sich für die detaillierte Untersuchung ausgewählter Gewässersysteme, d.h. Gewässerstrecken von einigen Kilometern Länge samt ihrer Zuflüsse. In einem ersten Schritt werden die wichtigen Strukturen und Defizite beschrieben: Wie naturnah ist die Sohle des Ge-

wässers? Ist der Uferbereich genügend breit? Wird die Durchgängigkeit durch Hindernisse beeinträchtigt? Anschliessend formulieren die Projektverantwortlichen die Entwicklungsziele: Liegt ein Flussabschnitt beispielsweise in einem extensiv genutzten Gebiet, ist eine deutliche Verbreiterung des Uferbereichs möglich. Im Siedlungsgebiet kann unter Umständen einzig die Gerinnestruktur verbessert werden.

Die Planung muss auch die Bedeutung des Gewässerabschnittes berücksichtigen. So wirken sich Hindernisse im Mündungsbereich besonders negativ aus, da sie die Besiedlung des gesamten oberhalb liegenden Gewässers erschweren oder verunmöglichen.

Solche Abklärungen erlauben es, den ökologischen Nutzen von Aufwertungsmassnahmen zu bestimmen. Darauf gestützt werden wasserbauliche Massnahmen und ihre Prioritäten erarbeitet und auf einer Karte dargestellt. Neben einer naturnahen Gewässerstruktur muss das Augenmerk vor allem auf einem ausreichenden Gewässerraum liegen, der eine naturnahe Dynamik erst ermöglicht.

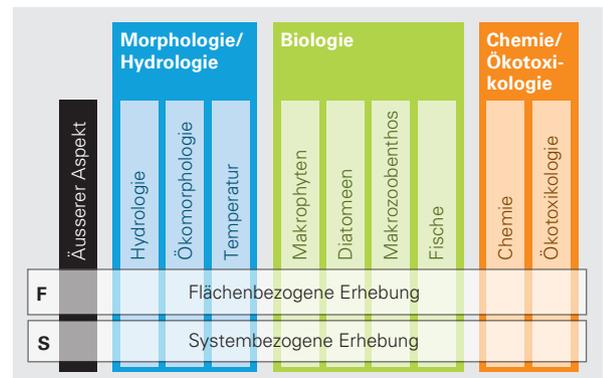
## Methode schafft Akzeptanz

Der Abschluss des Massnahmenkonzepts bedeutet noch nicht, dass am Fluss gleich die Bagger auffahren. Doch die Ergebnisse aus dem Modul «Ökomorphologie Stufe S»

Hannes Scheuber



Kaum ein Bach fliesst noch so frei wie der Gorerenbach im Kiental. Fundierte Kenntnisse des Ist-Zustands, verglichen mit dem ursprünglichen Naturzustand, erlauben es jedoch, realistische Entwicklungsziele für die Aufwertung beeinträchtigter Gewässer zu definieren.



Die Module des Modul-Stufen-Konzepts zur Gewässerbewertung.

können in weitere Planungen eingebracht werden – zum Beispiel in eine regionale Entwässerungsplanung, ein Hochwasserschutzkonzept oder ein Landschaftsentwicklungsprojekt. Die Bewertungsmethode begründet die Massnahmen nachvollziehbar und zeigt auf, wo der doppelte Nutzen für das Gewässer und die Betroffenen liegt. Das unterstützt und versachlicht die Entscheidungen bei Behörden und in der Bevölkerung. ○○○

## Gemeinsames Projekt

Das Modul-Stufen-Konzept ist ein gemeinsames Projekt des Bundesamtes für Umwelt, der Eawag und kantonalen Gewässerschutzfachstellen. Ziel ist die Entwicklung standardisierter Methoden für die Untersuchung und Bewertung des Zustandes der Fliessgewässer in der Schweiz. In unterschiedlicher Bearbeitungsintensität (Stufen) erfassen die Methoden strukturelle und hydrologische, biologische, chemische sowie ökotoxikologische Aspekte der Gewässerqualität. Die Module richten sich als Vollzugshilfen vor allem an die kantonalen Fachstellen. Das Konzept wurde 1998 mit der ersten Methode (Modul Ökomorphologie F) lanciert und laufend ergänzt. Der Entwurf des Moduls Ökomorphologie S wird im Moment in den Kantonen erprobt und bis Ende Jahr in überarbeiteter Form definitiv publiziert. Neu entwickelt wurde soeben das Modul zur Bewertung des Abflussregimes auf der Stufe F.

► [www.modul-stufen-konzept.ch](http://www.modul-stufen-konzept.ch)

Projektleitung:

Dr. Simone Langhans, [simone.langhans@eawag.ch](mailto:simone.langhans@eawag.ch)

Dr. Christine Weber, [christine.weber@eawag.ch](mailto:christine.weber@eawag.ch)

# Seeforellen mit Peilsendern nachgespürt

Mit Hilfe von Radiosendern hat die Eawag am Alpenrhein die Wanderung der bedrohten Seeforellen verfolgt. Bis weit über 100 Kilometer steigen die Fische aus dem Bodensee ins Bündnerland zu ihren Laichgründen auf und überwinden dabei auch künstliche Hindernisse. Dank den Untersuchungen sind nun auch die Ansprüche der kräftigen Schwimmer an ihre Laichareale genau bekannt. Zudem zeigten die Ortungen, dass die Fische bevorzugt an den Wochenenden wandern, wenn der Wasserstand weniger durch den Betrieb der Kraftwerke beeinflusst ist (siehe dazu auch Seite 29).



Ein im Alpenrhein gefangenes Seeforellenmännchen. Mit 80 weiteren Seeforellen wurde es mit einem Radiosender ausgerüstet. So konnten ihre Wanderungen mit der Richtantenne genau verfolgt werden – auch zur Laichzeit im Dezember in der Vorderrheinschlucht.

Solche winzigen Sender wurden den Seeforellen sorgfältig in die Bauchhöhle eingepflanzt.





Seeforellen auf dem Laichplatz, vorne das Männchen. Auf ihrer Wanderung stromaufwärts durchswimmen die Fische Rampen mit hohen Fließgeschwindigkeiten und überspringen Hindernisse von über einem Meter Höhe – auch wenn manchmal mehr als ein Anlauf nötig ist.



Um mehr über die Entwicklung der Eier und das Überleben der frisch geschlüpften Seeforellen zu erfahren, wurden von Dezember bis April Eier in Plastikboxen im durchströmten Kies vergraben. Fast 90 % der Eier überlebten diese Aufzucht an Ort.

### Verborgenes Verhalten beobachtet

Für den Fischbiologen Armin Peter ist Telemetrie – das Beobachten der Fische dank der eingepflanzten Sender – eine faszinierende Forschungsmethode. «Sie zeigt Dinge, die sonst verborgen bleiben», sagt er. Weil die Radiosignale mit dem Empfangsgerät oft über weite Strecken hörbar sind, können die Fische auch in nicht zugänglichen Gewässerabschnitten oder im trüben Wasser aufgespürt werden. Überrascht waren die Wissenschaftler zum Beispiel, dass einzelne Seeforellen zwar in den Hinterrhein aufstiegen, nach zwei, drei Tagen aber umgekehrt sind und im Vorderrhein weiterwanderten. «So unfehlbar, wie wir bisher geglaubt haben, ist also der Leitinstinkt der Tiere doch nicht», sagt Peter. Oder die These, dass alle Tiere möglichst weit zu den Bergbächen hinaufwandern: Die Telemetrie hat nachgewiesen, dass die Seeforellen kaum in die Seitengewässer einsteigen und dass sie auch im kanalisierten, vom Schwallbetrieb der Kraftwerke betroffenen Alpenrhein laichen – vermutlich allerdings mit wenig Erfolg. Solche Resultate geben nicht nur Aufschluss über das Verhalten der Tiere, sie liefern auch Hinweise, welche Massnahmen die natürliche Vermehrung der Art verbessern können.

Das Schwierigste beim Peilen sei es, die schwimmenden Fische direkt zu verfolgen. Eine Seeforelle kann innerhalb von 24 Stunden bis zu 16 Kilometer zurücklegen, in einer einzigen Nacht bis zu 9 Kilometer. Armin Peter ist daher froh um seine Helferinnen und Helfer im Feld, zumeist Diplomanden oder technische Mitarbeiterinnen. Noch rascher wandern die Fische flussabwärts: Vorausgesetzt, dass genügend Wasser über das Stauwehr bei Reichenau fließt, erreichen sie innert 1–3 Tagen den Bodensee.

# Stoffe

## Chemikalien und Effekte

**Die Eawag ist ein international anerkanntes Kompetenzzentrum für die Risikobewertung stofflicher Gewässerbelastungen. Sie liefert entscheidende Grundlagen für die Festlegung von Grenzwerten und treibt die moderne Analytik voran. Die Erschließung immer neuer Wasserressourcen macht es nötig, neben synthetischen Schadstoffen auch natürliche Problemstoffe biologischen und geologischen Ursprungs in die Arbeiten zu integrieren. Einen neuen Forschungsschwerpunkt bilden die vom Menschen in die Umwelt gebrachten Nanopartikel und ihre Auswirkungen.**

### FORSCHEN

## Endgültig ist ein Resultat nie

**Annette Johnson** hat in London Chemie studiert. Seit 1991 forscht sie an der Eawag, hauptsächlich im Bereich der Geochemie. Zurzeit befasst sie sich unter anderem mit einem Modell, mit dessen Hilfe das Risiko geogener Schadstoffe im Trinkwasser abgeschätzt werden kann (siehe Seite 44). Auf die eine Seite ist Johnson ganz Naturwissenschaftlerin: «Es ist faszinierend, wenn komplexe Prozesse nach langer Detektivarbeit allmählich verständlich werden oder sich sogar mit einer Formel darstellen lassen», sagt sie. Doch gleichzeitig ist sie sich bewusst, dass die besten Formeln nie alles erklären. Dazu brauche es das Zusammenspiel verschiedener Disziplinen, zum Beispiel den Einbezug der Sozialwissen-

schaften, was an der Eawag speziell gefördert wird. Den oft beschwörten Konflikt zwischen akademischer und praxisorientierter Forschung gibt es in ihren Augen nicht. Allerdings gelte der Grundsatz:

Je näher die Fragestellung an der Praxis, umso komplexer die Antwort. Das berge die Gefahr, nach dem Prinzip «Versuch und Irrtum» zu arbeiten, statt wissenschaftlich korrekt eine Hypothese zu prüfen und die Prozesse zu ergründen. Eine Garantie für den Durchbruch bietet allerdings auch dieser Weg nicht: «Als Forscherin weiss ich, dass meine Antworten nie endgültig sind», sagt Johnson, «und es ist schon ein Teilerfolg, wenn andere an dem weiterarbeiten, das ich gefunden habe.»



## LEHREN

### Ohne junge Leute schläft die Forschung ein

**Bernhard Wehrli** ist Professor für Aquatische Chemie an der ETH Zürich und seit 2005 Mitglied der Eawag-Direktion. Seine Forschung konzentriert sich auf die biogeochemischen Prozesse in Flüssen und Seen sowie die

nachhaltige Nutzung von Süsswasserressourcen. Wehrli, unter anderem auch Mitglied im Forschungsrat des Nationalfonds, schätzt die Praxisnähe an den immer noch jungen Umweltwissenschaftler: «Es ist dankbar, grundlegendes

wissenschaftliches Arbeiten anhand aktueller Probleme vermitteln zu können», sagt er. In seiner Arbeit mit den Studenten sieht er daher einen Brückenschlag zwischen Forschung und Praxis: «Dank der Doppelfunktion an der ETH und an der Eawag können wir den Studierenden interdisziplinäre Veranstaltungen bieten, die sonst nicht möglich wären.» Als Beispiel erwähnt Wehrli die gemeinsamen Seminare mit den Politikwissenschaften zu internationalen Wasserkonflikten. Oder das Systempraktikum, wo sich die Studentinnen und Studenten ganzheitlich mit einem Thema auseinandersetzen müssen – von der ersten Probenahme bis zur abschliessenden Berichterstattung. Die Eawag profitiere ihrerseits von den jungen Leuten, die nicht selten später eine Master- oder Doktorarbeit am Wasserforschungs-Institut machen würden: «Das bringt Dynamik, denn eine Forschungsinstitution ohne Nachwuchs schläft ein», sagt Wehrli.



## BERATEN

### Auf Glaubwürdigkeit und Vernetzung setzen

**Franz Adam** leitet beim Zürcher Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) die Abteilung Abfallwirtschaft und Betriebe. Ursprünglich Kulturingenieur, hat er vor mehr als 25 Jahren an der Eawag das Nachdiplomstudium «Siedlungswasserbau und Gewässerschutz» absolviert. Das habe ihm zum Einstieg in den Umweltschutz und zu vielen Kontakten verholfen, sagt er. Immer wieder hat er seither auf diese Kontakte und auf Know-how an der Eawag zurückgegriffen. Die Eawag erlebe er als «unkomplizierte, offene und kompetente» Partnerin. Sie komme auf seiner Fachstelle immer dann ins Spiel, wenn Wissen gefragt sei, das bei privaten Ingenieur- oder Umweltbüros nicht einzukaufen sei. Ausserdem schätzt Adam die internationale Vernetzung der Forschenden. Den Einschätzungen der Eawag attestiert er eine hohe Glaubwürdigkeit. So habe die Risikoanalyse zur Teerablagerung im Zürichsee (siehe Seite 46) «wesentlich dazu beigetragen, dass wir unsere Haltung zur Beseitigung dieser Altlast revidiert haben», sagt er. Aktuelle Projekte, wo das Awel mit der Eawag zusammenarbeitet, sind beispielsweise Untersuchungen zu Nanosilber in betrieblichem Abwasser oder zum Langzeitverhalten von behandelter Kehrichtschlacke.





# Chemikalien

## mit hormonellen Nebenwirkungen

**Kann die sinkende Spermienqualität bei den Schweizer Männern auf hormonaktive Substanzen zurückgeführt werden? Das war nur eine unter vielen Fragen, denen sich das Nationale Forschungsprogramm «NFP50 – Hormonaktive Stoffe: Bedeutung für Menschen, Tiere und Ökosysteme» gewidmet hat. Im Sommer 2008 wurde es abgeschlossen mit wesentlichen Beiträgen der Eawag. Im Zentrum unserer Projekte standen die Belastung von Flüssen und Seen mit hormonaktiven Verbindungen und deren Auswirkungen auf die Fische.**

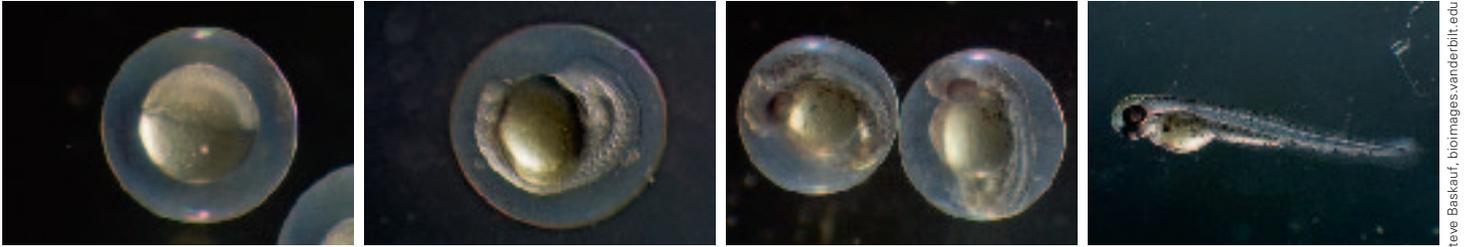
Abwasser enthält Stoffe, die gleich oder ähnlich wirken wie Hormone. Zum einen sind das die von Menschen natürlicherweise oder nach der Einnahme der Antibabypille ausgeschiedenen Hormone, zum anderen hormonaktive Substanzen aus technischen Chemikalien, die über kurz oder lang auch in die Umwelt und ins Gewässer gelangen. Zu dieser Stoffgruppe zählen beispielsweise Nonylphenole (siehe S. 40), einige in Sonnencremes verwendete UV-Filter, Antioxidantien in Kosmetika oder bromierte Flammschutzmittel.

### **Erhöhte Werte unterhalb von Kläranlagen**

Bereits das 2004 abgeschlossene Eawag-Querprojekt «Fischnetz» warf die Frage auf, welchen Einfluss die hormonaktiven Substanzen auf die Fische haben. Im Rahmen des NFP50 hat die Eawag daher vorhandene Daten über

die effektive Belastung in Schweizer Flüssen gesammelt und mit neuen Messungen ergänzt. Weil Fischmännchen mit verweiblichten oder missgebildeten Geschlechtsorganen für Schlagzeilen gesorgt hatten, lag der Fokus auf östrogen wirkenden Substanzen. Aus 19 Mittellandflüssen wurden über mehrere Monate Proben genommen, die mit einem Hefetest auf ihre Östrogenität geprüft wurden. Die gefundenen Werte, dargestellt als Äquivalent von Estradiol, schwankten sehr stark von Standort zu Standort und im zeitlichen Verlauf, zwischen der Nachweisgrenze (0,2 ng/l) und 3 ng/l mit Ausreissern über 10 ng/l. Ab 1 ng/l wurde bei männlichen Regenbogenforellen die Bildung des sonst nur bei Weibchen vorkommenden Eidotterproteins Vitellogenin beobachtet. Die Konzentrationen können aber insgesamt als eher tief eingestuft werden. Unterhalb von Kläranlagen wurden höhere Werte gemessen als oberhalb (siehe Grafik). Und das gereinigte Abwasser von Kläranlagen mit Sandfiltern wies die geringere

Felchen aus dem Thunersee (unten) weisen häufigere und stärkere Deformationen an Geschlechtsorganen auf als in anderen Seen. Versenkte Munition sei daran schuld, wurde vermutet. Die Untersuchungen an der Eawag, unter anderem mit Zebrafischen (oben), konnten diese Hypothese ausschliessen. Die wahren Gründe sind aber noch nicht gefunden. (Fotos: Ruedi Keller, Anja Liedke)



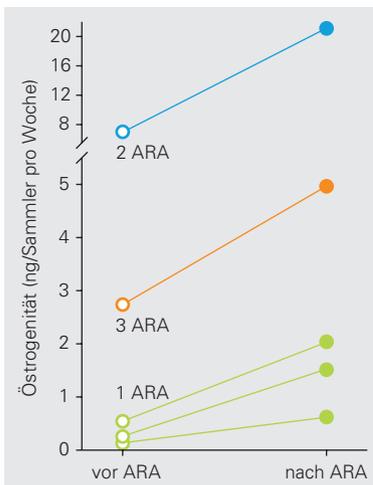
Die Embryonalentwicklung des Zebrafischs vom rund 5 Stunden alten Ei über die Embryonen nach 24 und 48 Stunden bis zum frisch geschlüpften Fisch nach 3 Tagen.

Steve Baskauf, bioimages.vanderbilt.edu

Östrogenität auf als bei Anlagen ohne Sandfilter. Im Projekt MicroPoll geht die Eawag daher unter Führung des Bundesamtes für Umwelt der Frage nach, wie die Leistung von Kläranlagen durch betriebliche Anpassungen oder mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe – zum Beispiel eine Ozonierung – in Bezug auf Spurenstoffe verbessert werden kann ([www.umwelt-schweiz.ch/micropoll](http://www.umwelt-schweiz.ch/micropoll)).

### Passivsammler statt Wasserproben

Als Alternative zur aufwändigen Probenahme und weil sie die Stoffe ähnlich aufnehmen wie ein Fisch, wurden auch «Passivsammler» eingesetzt. Werden sie im Gewässer fixiert, reichern sie östrogene Substanzen gezielt an und können danach ausgewertet werden. Passivsammler gibt es mittlerweile für zahlreiche Verbindungen, etwa Biozide oder Antibiotika und andere Arzneimittel. Ihr Einsatz in natürlichen Gewässern ist jedoch nicht ohne Tücken. So musste der von der Eawag verwendete Sammlertyp erst im Versuchslabor optimiert werden, um für alle Standorte vergleichbare Ergebnisse zu liefern, und in einem Fall wurden sämtliche ausgelegten Sammler von einem grossen Hochwasser weggespült. Die Resultate zeigten schliesslich eine sehr gute Übereinstimmung mit parallel entnommenen Wasserproben. Zudem wurden in der Nähe der Probenahmestellen einzelne Forellen in Röhren im Bach gefangen und anschliessend untersucht. Die Analysen ihrer Gallen – in ihr reichern sich Östrogene an – bestätigten die Werte der Passivsammler. Damit können weitere Tierversuche vermieden werden.



Oben: Passivsammler (das weisse Plättchen) bei der Optimierung und Eichung im Versuchslabor. Links: Die in Passivsammlern über eine Woche aufsummierte östrogene Aktivität ober- und unterhalb von Kläranlageneinläufen. Links ist zudem angegeben, wie viele Kläranlagen bereits vor dem ersten Messpunkt gereinigtes Abwasser ins Gewässer eingeleitet haben.

### Nur ein Faktor unter anderen

Im Labor, mit einem Computermodell und in Feldversuchen wurde die Wirkung der östrogenen Stoffe auf die Forellen und ihre Fortpflanzung untersucht. Das erwähnte Eidotter-Protein Vitellogenin wurde als Indikator verwendet, da Männchen es verstärkt produzieren, wenn sie weiblichen Hormonen ausgesetzt sind. Unterhalb von Kläranlageneinläufen war dies der Fall. Anders als ursprünglich vermutet, scheinen aber die hormonaktiven Substanzen in den festgestellten Konzentrationen nur geringe Auswirkungen auf Fortpflanzung und Entwicklung der Fische sowie auf den gesamten Fischbestand zu haben. Weitere Faktoren – wie die Qualität der Lebensräume, andere chemische Belastungen, die Wassertemperatur oder Krankheitskeime – überdecken allfällige östrogene Effekte. So haben sowohl das Modell als auch Studien am kleinen Fluss Lützelurg (Kanton Thurgau) gezeigt, dass sich etwa die Überlebensraten der Jungfische im ersten Winter viel entscheidender auf die Fischdichte in den Folgejahren auswirken.

### Zebrafisch steht Modell

Neben den möglichst wenigen Versuchen mit Forellen hat die Eawag im Rahmen des NFP50 auch mit Zebrafischen daran gearbeitet, den hormonaktiven Stoffen auf die Spur zu kommen. Zebrafische oder Zebraäbrlinge gehören zu den Karpfenfischen und sind sehr genügsam. Die nur 5–6 cm langen Fische sind bereits nach 3–4 Monaten geschlechtsreif. Die Weibchen legen grosse Mengen von Eiern und die durchsichtigen Embryonen entwickeln sich vollständig ausserhalb des Mutterleibes. Das macht es einfach, Missbildungen schon in sehr frühen Stadien zu erkennen. An den Zebrafischen konnte so gezeigt werden, dass die Geschlechtsdifferenzierung sicher nicht allein auf Östrogene zurückgeführt werden kann, dass Östrogene jedoch auf die Entwicklung von anderen Organen wirken: Wird das Ei eines Zebrafischs einem hormonaktiven Stoff ausgesetzt, beeinflusst das die Entwicklung des Hirns des werdenden Fisches. Wird die Bildung der Östrogenrezeptoren, also der «Empfänger», durch Schadstoffe

unterdrückt, kann sich das Seitenlinienorgan nicht richtig ausbilden. Der Fisch kann sich später nicht richtig orientieren und schwimmt im Kreis. Einen vertieften Einblick in die Eawag-Forschung mit Zebrafischen gibt die Nummer 64 der Eawag-News.

### Rätsel im Thunersee erst teilweise gelöst

Seit 2000 beobachtet man bei den Felchen aus dem Thunersee atypische Veränderungen der Geschlechtsorgane. Betroffen sind über ein Drittel der männlichen und rund ein Viertel der weiblichen Fische. Nebst Verwachsungen und Einschnürungen an Hoden und Eierstöcken kommt es sogar zu Zwitterfischen. An der Erforschung der Ursachen für das in diesem Ausmass einzigartige Phänomen hat sich neben dem Kanton Bern und der Universität Bern auch die Eawag beteiligt. Untersucht wurde nicht nur die Wasserqualität, sondern auch das Plankton und das Seesediment, also alles, womit die Felchen im Verlauf ihrer Entwicklung in Kontakt kommen. Die Plankton- und Sedimentproben zeigten zwar eine östrogene Wirkung in verschiedenen Zelltests im Labor; beim Versuch mit Zebrafischen hat sich das aber nur teilweise bestätigt. Zudem ergaben Proben aus dem Brienzersee, wo die Felchen kaum von solchen Veränderungen betroffen sind, ähnliche Resultate. Zum Leidwesen der Medien, die gerne über das gelöste Rätsel berichtet hätten, kann die Forschung daher bis heute erst falsche Hypothesen ausmustern: Sowohl die einst im See versenkte Munition als auch das Baustellenabwasser aus dem Lötschbergbasistunnel scheinen keine entscheidenden Rollen zu spielen. Immerhin hat das Teilprojekt deutliche Hinweise auf einen



In solchen Röhren, durch die das Flusswasser strömt, wurden einzelne Forellen eine Zeitlang neben den Messstellen gehalten.

### Konsensplattform

Als Neuerung in einem Nationalen Forschungsprogramm wurde das NFP50 mit einer Konsensplattform abgeschlossen. Auf der Basis des neuen Wissens erarbeiteten Forscherinnen und Forscher dabei gemeinsam mit Vertretern von Behörden und Industrie praxisbezogene Empfehlungen zu den hormonaktiven Stoffen. Alle Beteiligten sollten zu den Resultaten stehen können, das übliche «Ja, aber» möglichst vermieden werden. Diskutiert wurde in den drei Gruppen: UV-Filter, bromierte Flammschutzmittel und Gewässer/Abwasser. Die Eawag war in der zweiten und dritten Plattform vertreten. Einig war man sich, dass eine Langzeitüberwachung und weitere Forschung nötig sind, um noch mehr über die Gefährlichkeit der hormonaktiven Substanzen zu erfahren. Es wurde aber auch anerkannt, dass wissenschaftliche Unsicherheiten nicht als Argument dienen dürfen, um risikomindernde Massnahmen zu verhindern. So erklärten sich die Industrievertreter beispielsweise bereit, für gewisse UV-Filter oder Flammschutzmittel Ersatz zu suchen. Und die Bundesbehörden wollen ein Qualitätskriterium für die Hormonaktivität in Gewässern in die Gewässerschutzverordnung aufnehmen. Die detaillierten Ergebnisse der Konsensplattformen finden sich unter [www.nfp50.ch](http://www.nfp50.ch) > consensus-platforms.

dioxinähnlichen Stoff im Sediment geliefert sowie auf Substanzen, welche die Entwicklung des Immunsystems stören. Woher diese stammen, ist unbekannt, die Detektivarbeit also noch nicht abgeschlossen.

### Allgegenwärtige Flammschutzmittel

Eine wichtige Gruppe von Chemikalien, die im NFP50 untersucht wurden, sind Flammschutzmittel, von denen einige in Verdacht stehen, hormonaktiv zu wirken. Diese bromierten Stoffe werden beispielsweise in Computergehäusen, in Textilien oder in Isoliermaterialien eingesetzt und verhindern ein rasches Feuerfangen. Forscher von Empa und Eawag haben in den Sedimentschichten des Greifensees nachgewiesen, wie seit 1980 die Konzentration an bromierten Flammschutzmitteln rasant zunimmt. Die Problematik dieser Mittel liegt nicht nur in ihrem universellen Einsatz, sondern auch in ihrer Verbreitung: Die Stoffe tauchen sogar in zuflusslosen Bergseen auf. Sie müssen also gebunden an Staub über die Luft verteilt worden sein. Sie scheinen den Weg in die Umwelt aber auch über Haushalts- und Industrieabwässer zu finden: In Bachforellen aus belasteten Gewässerabschnitten wurden Flammschutzmittelkonzentrationen gefunden, die bis zu fünf Mal höher lagen als bei Regenbogenforellen aus Zuchtanlagen. Hinweise, dass die gemessenen Konzentrationen die Fische schädigen, gibt es bisher keine, und einzelne Flammschutzmittel sind unterdessen in der EU verboten. Trotzdem dürfe die Suche nach Alternativen nicht vernachlässigt werden, fordern die Forschenden, denn Abbauprodukte von vermeintlich unproblematischen Verbindungen können ihrerseits hormonaktive Wirkung entfalten. ○ ○ ○

- ▶ [www.nfp50.ch](http://www.nfp50.ch)
- ▶ Sonderausgabe des Hefts Chimia (5/2008)
- ▶ Eawag News 64, April 2008

Kontakt:

Dr. Marc Suter, [marc.suter@eawag.ch](mailto:marc.suter@eawag.ch)

Dr. Etienne Vermeirssen, [etienne.vermeirssen@eawag.ch](mailto:etienne.vermeirssen@eawag.ch)

# Nonylphenole – der Mix macht's

**Nonylphenole sind toxische und hormonaktive Schadstoffe, die immer als Mix aus verschiedenen Isomeren vorkommen. Die Eawag beschäftigt sich seit Langem mit diesen weit verbreiteten Substanzen. Nun zeigen neue Resultate, dass Bakterien die Isomere unterschiedlich gut abbauen, wobei das östrogene Risiko der Mischung sogar anwachsen kann.**

**Das Umweltrisik  
von Nonylphenolen  
kann mit der  
alleinigen Bestim-  
mung der Gesamt-  
konzentration  
stark unterschätzt  
werden.**

Jeweils gegen 9 Uhr steuert Frédéric Gabriel mit einem Stapel Dokumente unter dem Arm in Richtung Eawag-Cafeteria. Bei einem Kaffee nutzt er die morgendliche Ruhe, um die Experimente des Tages zu planen oder einen Artikel zu lesen. Doch heute erklärt er einem Gast seine aktuellen Forschungsergebnisse, die im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «NFP50 – Hormonaktive Stoffe» in der Gruppe Umweltbiochemie von Hans-Peter Kohler erarbeitet wurden. Kohler und Gabriel forschen in der Abteilung Umweltmikrobiologie über Nonylphenole. Diese sehr toxischen und hormonaktiven Umweltschadstoffe dienen als Basis für die Produktion von Nonylphenol-Polyethoxylaten, einer wichtigen Gruppe nichtionischer Tenside. Die Polyethoxylate helfen, Fett in Wasser zu emulgieren, und werden in Produkten wie Reinigungsmitteln, Pestiziden, Farben, Kunststoffen, aber auch in vielen industriellen Produktionsbereichen eingesetzt. Weltweit werden jährlich

ca. 650 000 Tonnen Nonylphenol-Polyethoxylate erzeugt. Die Nonylphenol-Problematik, erläutert Frédéric Gabriel, sei ein Paradebeispiel dafür, wie in der Umwelt aus harmlosen anthropogenen Ausgangsstoffen toxische Verbindungen entstehen können. Denn die relativ unbedenklichen Nonylphenol-Polyethoxylate werden in den Kläranlagen von Mikroorganismen abgebaut, wobei das toxische Nonylphenol wieder freigesetzt wird und in die Umwelt gelangt. In der Schweiz und in der Europäischen Union (EU) ist die Verwendung von Nonylphenol und dessen Ethoxylaten seit einigen Jahren gesetzlich stark eingeschränkt. In den USA und in den meisten anderen Ländern bestehen dagegen bis anhin keine Limitierungen.

## **Nonylphenol nicht gleich Nonylphenol**

Aufgrund der Strukturverwandtschaft mit 17- $\beta$ -Östradiol, dem weiblichen Geschlechtshormon, üben Nonylphenole eine östrogene Wirkung auf viele Wirbeltiere aus. Darüber hinaus weiss man, dass das für die Tensidproduktion gebrauchte technische Nonylphenol keine Einzelsubstanz ist, sondern eine komplexe Mischung aus über 100 Isomeren, die sowohl unterschiedlich gut abbaubar als auch unterschiedlich stark hormonaktiv sind. «Mit unserer neuen Studie konnten wir nun den Einfluss der chemischen Struktur auf die Östrogenität untermauern und damit auch belegen, wie wichtig es ist, Nonylphenole bei der Abschätzung des Umweltrisikos nicht über einen Kamm zu scheren», betont Umweltmikrobiologe Gabriel.

## **Schwer abbaubare Isomere: noch hormonaktiver?**

Nach der Freisetzung aus den Nonylphenol-Polyethoxylaten wird auch

das Nonylphenol selbst weiter abgebaut, allerdings ganz unterschiedlich schnell. Bei ihren Experimenten haben die Eawag-Forscher einem Bakterium, das sie aus Klärschlamm isoliert hatten, technisches Nonylphenol angeboten. Die Abbauprodukte wurden dann mit Massenspektrometrie analysiert. Nach neun Tagen waren einige Nonylphenol-Isomere vollständig, andere jedoch erst teilweise abgebaut. Dabei hing die Abbaugeschwindigkeit von der chemischen Struktur ab: Isomere mit raumbeanspruchenden Seitenketten in unmittelbarer Nachbarschaft zum Phenolring wurden wesentlich schlechter abgebaut als Isomere mit kleineren Seitenketten in dieser Position. Aufgrund ihrer Struktur könnten aber gerade die schwer abbaubaren Nonylphenole eine besonders hohe Östrogenität aufweisen, erklärt Frédéric Gabriel.

Der mikrobielle Abbau lässt also womöglich ausgerechnet denjenigen Teil der Nonylphenol-Mischung übrig, von dem eine hohe östrogene Gefahr ausgeht. «Ein aussagekräftiges Monitoring – wie die EU es für Nonylphenole vorschreibt – ist daher nur möglich, wenn die einzelnen Isomere gemessen werden», unterstreicht der Eawag-Forscher. Und während er seine Dokumente einsammelt und die Kaffeetassen forträumt, bemerkt Gabriel noch, dass sie derzeit dabei seien, das für den Abbau verantwortliche Enzym zu isolieren. ○ ○ ○



Frédéric Gabriel erläutert seine Forschungsergebnisse.

Kontakt:

Dr. Hans Peter Kohler, kohler@eawag.ch

Dr. Frédéric Gabriel,  
frederic.gabriel@eawag.ch

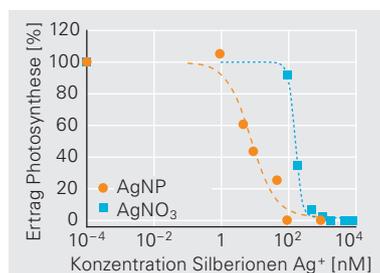
# Silbernanopartikel wirken toxisch

**Silbernanopartikel haben nützliche antimikrobielle Effekte in immer mehr Produkten. Doch über ihre Umweltverträglichkeit ist noch wenig bekannt. Die Eawag hat aufgezeigt, dass sie die Photosynthese von Algen hemmen. Das lässt sich durch die bekannte toxische Wirkung der Silberionen erklären, die neben den metallischen Partikeln in der Lösung sind. Brisant ist jedoch, dass die Nanopartikel toxischer wirken als eine Lösung mit Silberionen allein.**

Die Herstellung von Nanopartikeln eröffnet neue Möglichkeiten für industrielle und kommerzielle Anwendungen. Entsprechend zunehmend ist die Anzahl von Konsumentenprodukten, die sich die Vorteile von künstlich hergestellten Nanopartikeln zunutze machen. So werden Nanopartikel unter anderem in Kosmetika, Textilien, Waschmitteln und in Nahrungsmitteln eingesetzt, um Schmutz abweisende, Wasser abstossende, keimtötende oder auch UV absorbierende Eigenschaften zu erhalten.

## Früher oder später in der Umwelt

Mit der starken Zunahme von kommerziellen Anwendungen wächst auch die Wahrscheinlichkeit, dass Nanopartikel aus Produktion, Anwendung oder Entsorgung in die aquatische Umwelt gelangen. Kürzlich haben Eawag und Empa dies in einer gemeinsamen Studie mit künstlich hergestellten Titandioxid-Nanopartikeln aufgezeigt. Diese Partikel werden in Fassadenfarben u. a. als Weisspigmente eingesetzt und gelangen durch den Einfluss der Witterung, namentlich mit dem Regenwasser, in die Umwelt.



Vergleich der Toxizität von Silbernanopartikeln und von gelöstem Silbernitrat gemessen am Ertrag der Fotosynthese, der mit zunehmender Silberionenkonzentration sinkt. Die Wirkung der Partikel setzt bei deutlich tieferen Konzentrationen ein als die alleinige Wirkung der Silbernitrationen.



Eawag/Ruedi Keller

In dieser Anordnung wurde die hemmende Wirkung des Silbers auf die Photosynthese der Algen gemessen.

Die Aussicht, dass gezielt eingesetzte, industriell produzierte Nanopartikel über kurz oder lang auch in der Umwelt auftauchen, wirft die Frage auf, ob sie dort ein Risiko darstellen und wie hoch dieses einzuschätzen ist. Das hängt zum einen natürlich ab von der Menge, die freigesetzt wird. Zum anderen muss aber auch bekannt sein, wie sich die Partikel – zum Beispiel in einem Gewässer – verhalten und über welche Wege sie auf Tiere und Pflanzen einwirken. Über diese Punkte weiss die Forschung noch wenig. Die Eawag führt daher zurzeit Studien durch zum Schicksal und zur Toxizität von künstlich hergestellten Silbernanopartikeln. Sie gehören wegen der bekannten keimtötenden Wirkung von Silber zu den am häufigsten eingesetzten Partikeln.

## Wechselwirkungen zwischen Algen und Nanopartikeln

Unsere Experimente haben wir mit Grünalgen sowie mit Nanopartikeln aus metallischem Silber in einer mittleren Grösse von 25 Nanometern

durchgeführt (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter). Es zeigte sich rasch: Die Partikel hemmen die Photosynthese der Alge. Ob dieser Effekt aber wirklich auf die Nanopartikel zurückzuführen ist oder lediglich auf den kleinen Anteil an gelöstem Silber (rund 1%), war vorerst unklar. Wir haben daher die Aminosäure Cystein eingesetzt. Sie bindet die freien Silberionen sofort, sodass diese für die Algen nicht mehr verfügbar sind. Umgehend verschwand die toxische Wirkung.

Dieses Resultat gibt klar den freien Silberionen die «Schuld» an der Toxizität. Doch das ist nicht die ganze Wahrheit: Gegenüber einem Kontrollversuch mit Silbernitrat zeigen die Algen im Versuch mit den Partikeln nämlich bereits Effekte bei viel tieferen Silberionenkonzentrationen, als

wenn keine Nanopartikel in der Nähe sind (siehe Grafik). Das kann mit zwei Vorgängen erklärt werden: Zum einen verstärkt offenbar der Kontakt der Partikel mit den Algenoberflächen die Bildung von Silberionen – in einem im Detail noch nicht erforschten Prozess. Zum anderen haben wir deutliche Hinweise darauf, dass die winzigen Partikel auch von den Algenzellen trotz ihrer schützenden Zellwände aufgenommen werden. Das ist brisant, denn die Zwerge könnten im Innern der Zellen toxische Effekte haben. Diese Vermutung ist daher Gegenstand unserer weiteren Forschung.

**Die Nanopartikel wirken für die Algen toxischer als die Silberionen allein.**

○○○

Kontakt:  
Dr. Renata Behra,  
renata.behra@eawag.ch

# Weniger Herbizide aus Bitumenbahnen

**Umweltforscher werden von Vertretern der Privatwirtschaft gelegentlich als übereifrige Warner betrachtet. Nicht so in einem Projekt, mit dem Eawag und Empa die Auswaschung von Herbiziden aus Bitumenbahnen untersucht haben. Hier hat der intensive Austausch mit den Herstellern innert Kurzem zu markanten Verbesserungen der Produkte geführt.**

Der Einsatz von Bitumenbahnen – auch als «Dachpappe» bekannt – ist beträchtlich. Jährlich werden in der Schweiz rund 5 Mio. m<sup>2</sup> Flachdächer erstellt, mehr als die Hälfte davon ist mit Bitumenbahnen abgedichtet. Dazu kommt die Verwendung an Fundamenten und auf begrünten Tiefgaragen.

## Gewässerbelastung nachgewiesen

Viele Bitumenbahnen enthalten das Herbizid Mecoprop, welches ein Eindringen von Wurzeln in die Abdichtungen verhindern soll. Mit dem Regenwasser wird dieser Stoff ausgewaschen und gelangt in die Umwelt. Das haben Untersuchungen der Eawag an Flachdächern bereits vor zehn Jahren aufgezeigt. Die Belastung der Gewässer mit Mecoprop ist nachgewiesen und übersteigt zum Beispiel in der Glatt das Qualitätsziel der Gewässerschutzverordnung von 0,1 µg/l oft um ein Mehrfaches. In einer neuen Studie haben wir nun untersucht, wie hoch die Auswaschung aus heute marktüblichen Produkten noch ist, wie sich die Situation im Regenwasserabfluss von Siedlungen charakterisieren lässt und welche Massnahmen zu einer Verringerung der Belastung führen könnten.



Abdichten eines später extensiv begrünten Flachdachs mit wurzelfesten Bitumenbahnen.

16 als «wurzelfest» bezeichnete Produkte wurden im Labor getestet und unter definierten Bedingungen gealtert. Zudem haben wir zwei Kiesdächer künstlich beregnet und das Dachwasser beprobt. Und schliesslich haben wir das Vorkommen von Mecoprop im Regenwasserabfluss der Trennkanalisation einer Neubausiedlung an mehreren Stellen untersucht. Die Ergebnisse sind deutlich.

## Umfangreiche Testreihen

Von den hauptsächlich eingesetzten Durchwurzelungsschutzmitteln mit den Markennamen Herbitect (HE) und Preventol B2 wird Mecoprop aus HE um mindestens einen Faktor 10 bis 20 weniger stark ausgewaschen als aus B2. Aus B2 wird der Wirkstoff vor allem am Anfang stark ausgewaschen – nach 190 Tagen natürlichem Witterungseinfluss hat sich die Konzentration halbiert. Bei HE blieben die Mecoprop-Konzentrationen hingegen in der ähnlichen, bereits anfänglich deutlich tieferen Grössenordnung. Pro Quadratmeter betrug die mittlere ausgewaschene Herbizidmenge 4 mg bei HE und 80 mg bei B2.

Die Proben aus dem Regenwasserabfluss der Siedlung in Volketswil ZH zeigten grosse Unterschiede in der Herbizidkonzentration. Grosse Beiträge stammen von Abdichtungen im Fundamentbereich und von begrünten Tiefgaragen, also nicht wie ursprünglich vermutet nur von Flachdächern. Kurz vor der Einleitung der Trennkanalisation in den kleinen Chimilbach massen wir bis zu 10 µg Mecoprop pro Liter Meteorwasser. Im Bach selbst wurden bei Regenereignissen Konzentrationen in derselben Grössenordnung registriert.

## Erfolgreiche Massnahmen

Dank einer sehr offenen Zusammenarbeit konnten wir unsere Resultate

und Vorschläge für Massnahmen zur Senkung der HerbizidAuswaschung laufend mit den Herstellern von Bitumenbahnen diskutieren. Dadurch kam es erstmals zu einer Zusammenarbeit der drei grössten Hersteller. Diese haben inzwischen ihre Rezepturen optimiert sowie auf HE oder das aufgrund der Studie neu entwickelte Preventol B5 umgestellt. B2 wird nicht mehr eingesetzt. Zudem haben die Produzenten ihre Anwendungsempfehlungen sowie die Informationen auf den Verpackungen überarbeitet. Sie raten heute, wurzelfeste Bahnen nur dort einzusetzen, wo dies wirklich nötig ist, also nur auf echten Gründächern.

Bereits 2008 konnte damit der Verbrauch wurzelfester Bitumenbahnen auf 60 % reduziert werden, für 2009 wird eine Senkung auf 40 % erwartet. Beide Massnahmen zusammen können längerfristig 96–98 % der Mecoprop-Auswaschung vermeiden. Damit kann nun neu überprüft werden, wie das Abwasser von Dächern mit verbesserten Bitumenbahnen am nachhaltigsten abgeleitet werden soll: zur Kläranlage, via Trennkanalisation ins Gewässer oder über eine kontrollierte dezentrale Versickerung. ○ ○ ○

Diese Studie ist Teil des Projektes URBIC. In dessen Rahmen werden die Auswaschung von Zusätzen aus Baumaterialien und deren Auswirkung auf die Qualität des Regenwasserabflusses untersucht. URBIC misst die Stoffflüsse von der Quelle bis zur Einleitung und bewertet Effekte auf Organismen. Die Arbeit wird vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) und dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) des Kantons Zürich unterstützt.

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

Kontakt:

Dr. Michael Burkhardt,  
michael.burkhardt@eawag.ch

# Der Kamm wird breiter und feiner gezähnt

**Der Rhein und seine Zuflüsse versorgen über 20 Millionen Menschen mit Trinkwasser. Kein Wunder, zählt der Strom zu den bestüberwachten der Welt, denn Problemstoffe müssen so früh wie möglich bemerkt und identifiziert werden. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt und dem Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt hat die Eawag untersucht, wie bisher nicht erfasste Stoffe mit neusten analytischen Methoden im Rhein nachgewiesen werden können.**

Gut einen Kilometer unterhalb des Dreiländerecks Deutschland-Frankreich-Schweiz befindet sich die Rheinüberwachungsstation Weil am Rhein. Ihr Ziel: Möglicherweise toxische Stoffe früh erfassen, damit Trinkwasserwerke gewarnt werden können und der Lebensraum Rhein geschützt werden kann. Ausserdem müssen die Stoffe identifiziert werden, damit ihre Herkunft eruiert und Quellen der Verschmutzung geschlossen werden können.

## Komplizierte Messung

Anders als etwa Wasserstand oder Temperatur stellt die Messung von potenziell gefährlichen Stoffen die Rheinüberwacher vor viel komplexere Fragen:

► Mit der Messung muss eine Vielzahl an organischen Schadstoffen möglichst innert Stunden erfasst werden können. Mit der traditionellen Analytik über die Gaschromatografie gekoppelt an die Massenspektrometrie kann nur ein Teil der Stoffe erfasst werden, und die Aufbereitung der Proben ist zeitaufwändig.

► Es müssen Konzentrationen bis in den tiefen ng/l-Bereich nachweisbar sein. Das scheint wenig, doch bedeutet bereits eine Konzentration von 10 ng/l (Milliardstel Gramm), dass von einem Stoff täglich ein Kilogramm rheinabwärts fliesst.

► Die chemische Analytik findet in erster Linie das, wonach man sucht. Die Rheinüberwachung soll aber auch unerwartete oder unbekannte Stoffe aus Havarien erkennen. Das erfordert eine Methodik, die ohne Vorauswahl von zu analysierenden Stoffen Verbindungen erfassen kann.

Vor diesem Hintergrund hat die Eawag 2008 in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Umwelt untersucht, welches Potenzial eine Ana-

lyse über ein flüssigchromatografisches Verfahren kombiniert mit hoch auflösender Massenspektrometrie hätte. Das ermöglicht die Bestimmung von Molekülmassen in einer Genauigkeit, die bereits die Masse eines einzelnen Elektrons registriert.

## Vielversprechende Tests

Die Studie hat den Einsatz einer solchen Gerätekombination empfohlen. Von 211 ausgewählten Mikroverunreinigungen konnten mit dem eingesetzten Testgerät (LTQ-Orbitrap) 88 % mit einer einzigen Anreicherungs-methode bis in den tiefen ng/l-Bereich erfasst werden. Das Durchkämmen der 12 Rheinproben ergab 672 Befunde, verteilt auf 84 Substanzen, darunter 40 Pestizide und Pestizidumwandlungsprodukte, 26 Arzneimittel, ein Korrosionsschutzmittel und mehrere Industriechemikalien. Aufgrund der präzisen Auflösung ist das Gerät prinzipiell auch in der Lage, unbekannte Schadstoffe zu detektieren, die nach Schadenfällen in hohen Konzentrationen im Rhein vorkommen können. In Kombination mit den bereits installierten Techniken sollte die neue Analytik das «Beobachtungsfenster» soweit öffnen, dass solche Schadstoff-Wellen kaum mehr unerkannt in Richtung Nordsee abfliessen werden. Man könnte auch sagen, der Kamm im Rhein wird breiter und erhält trotzdem immer feinere Zähne.

## Ständige Verbesserungen

Ein Problem haben die Forscher noch: Die massenspektrometrischen «Fingerabdrücke» der Verbindungen können in der Flüssigchromatografie nicht direkt mit den bestehenden Substanz-Datenbanken der normierten Gaschromatografie abgeglichen werden. Unbekannte Substanzen müssen über die hochpräzise Sub-



ETH-Bibliothek, Bildarchiv

Der Basler Rheinhafen. Nach dem verheerenden Chemiebrand bei Sandoz von 1986 haben die Rheinanliegerstaaten eine gemeinsame Überwachung des Rheins beschlossen.

stanzmasse erkannt werden. Das bedeutet, dass eine Verbindung nur mit grosser Wahrscheinlichkeit, aber nicht hundertprozentig bestimmt wird. Die Wahrscheinlichkeit einer exakten Zuordnung erhöhen könnten Vorhersagen, die die erwartete Stoffpalette eingrenzen, die also nicht die Nadel grösser, aber wenigstens den Heuhaufen kleiner machen. Die Eawag entwickelt daher zurzeit Vorhersagemodelle, um Umwandlungsprodukte von Pestiziden, Bioziden und Pharmaka zu identifizieren, die aufgrund ihrer Konzentrationen und Effekte gewässerrelevant sind.

Unterdessen betreibt das Amt für Umwelt und Energie Basel-Stadt für die Überwachungsstation in Weil einen Flüssigchromatografen, gekoppelt mit einem hochauflösenden Massenspektrometer. Ob sie die traditionelle Analytik ganz ersetzen können, muss die Erfahrung zeigen. Ein Eawag-Postdoktorand begleitet den Prozess für die kommenden drei Jahre und sichert den Wissenstransfer. ○ ○ ○

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

# Arsen: Risiko erkennen, Problem bewältigen

**Die Belastung von Grundwasser mit Arsen gefährdet die Gesundheit von Millionen Menschen. Besonders betroffen sind die dicht besiedelten Flussdeltas in Südostasien. Risikogebiete ohne aufwändige Probenahmekampagnen zu erkennen, war bisher nicht möglich. Jetzt hat die Eawag eine Methode entwickelt, wie mit vorhandenen Daten aus Klima und Geologie Gefahrenzonen eingegrenzt werden können. Parallel dazu werden angepasste Verfahren entwickelt, wie belastetes Wasser von der betroffenen Bevölkerung behandelt werden kann.**

Auch natürlich vorkommende Stoffe können die Gesundheit gefährden. Über 200 Millionen Menschen sind weltweit zu hohen Arsen- oder Fluoridkonzentrationen im Trinkwasser ausgesetzt. Die Stoffe werden vom Grundwasser aus den Gesteinen gelöst; man spricht von geogenen Verunreinigungen. Vielerorts ist das Problem zwar erkannt, doch weil das Oberflächenwasser verschmutzt ist, werden laufend neue Brunnen erstellt – oft ohne das geförderte Wasser zu testen.

## Verfügbare Daten nutzen

Im Rahmen des Eawag-Projekts WRQ (Water Resource Quality) haben Forschende nun eine Methode entwickelt, wie Risikogebiete verhältnismässig einfach erkannt werden können, auch ohne aufwändige Grundwasseranalysen. Das



Probenahme an einem Trinkwasserbrunnen auf Sumatra (Indonesien). Rund 100 000 km<sup>2</sup> im Osten der Insel gelten gemäss der neuen Methode als Risikogebiet für zu hohe Arsenkonzentrationen im Grundwasser.

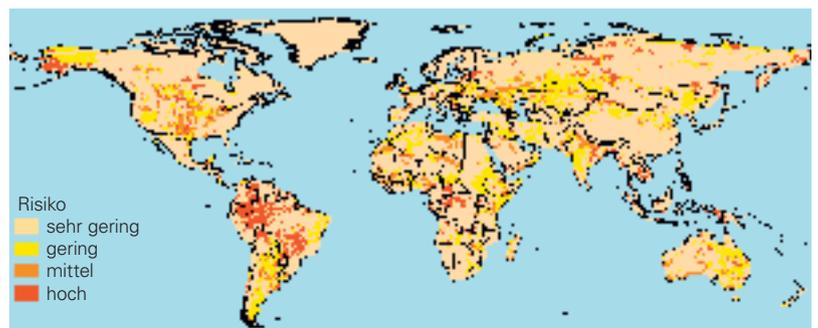
von der Geochemikerin Annette Johnson koordinierte Team hat dazu weltweit – namentlich aus Kartenwerken – Daten zu Bodentyp, Geologie, Klima, Hydrologie und Topografie in einem geografischen Informationssystem zusammengetragen. Gleichzeitig wurden aus Publikationen sowie von angefragten Ämtern und Institutionen Grundwasserdaten

erfasst, über 20 000 Datenpunkte für Arsen und rund 60 000 Datenpunkte für Fluorid. Aufwändig wurden sämtliche Daten auf einen vergleichbaren Stand gebracht. Dann hat das Team ein Modell erstellt, das Statistik und Expertenwissen kombiniert. Das Resultat sind globale Risikokarten. Sie geben einen Eindruck, in welchen Regionen Grundwasser mit hohen

## Arsen

Arsen ist natürlicherweise in den Gesteinen des Untergrundes enthalten und wird durch Verwitterung in geringen Mengen im Grundwasser gelöst. Die anorganischen Salze des Arsens sind geruchs- und geschmacklos, aber für den Menschen sehr giftig. Über längere Zeit eingenommen, können selbst bei tiefen Konzentrationen Gesundheitsschäden auftreten, darunter Funktionsstörungen der Leber und verschiedene Formen von Krebs.

Problematisch ist zum einen, dass der Arsengehalt lokal sehr stark schwanken kann. Zum anderen aber auch, dass vielerorts das Risiko überhaupt nicht erkannt wird, weil weder Brunnen- noch Grundwasser je auf Arsen getestet wurden. Die Weltgesundheitsorganisation WHO empfiehlt, maximal 10 µg Arsen pro Liter Trinkwasser zu akzeptieren. In den Deltas des Roten Flusses und des Mekong fand die Eawag in jeder fünften Probe Arsenkonzentrationen über 100 µg/l, im Maximum bis 3000 µg/l.



Globale Arsen-Modellierung – Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von arsenbelastetem Grundwasser.

Arsen- oder Fluoridgehalten anzutreffen sind. Im Fall des Arsens ist die Wahrscheinlichkeit dafür besonders hoch in den zentralen USA, in Alaska, Brasilien, in der Republik Kongo sowie an vielen Orten in Südostasien.

### Schwerpunkt Südostasien

Arsenbelastetes Trinkwasser führt in zahlreichen Gebieten Südasiens zu einer eigentlichen Massenvergiftung. Allein in Bangladesch, so schätzt die Unicef, seien künftig 2,5 Millionen Menschen betroffen. Heute schon sterben jährlich Tausende an den Folgen einer chronischen Arsenvergiftung, an Haut-, Lungen- oder Darmkrebs. Das WRQ-Projektteam entschloss sich daher, die Risikokartierung für diese Region zu verfeinern. Insbesondere wurden die Geologie von jungen Sedimentablagerungen ins Modell aufgenommen und zusätzlich über 4600 Messdaten berücksichtigt. Die sandig-kiesigen Ablagerungen von Flüssen mit einem hohen Anteil an organischem Material erwiesen sich dabei als Zeiger für eine erhöhte Arsenkontamination im Grundwasser.

### Für Regierungen und Hilfsorganisationen

Die Überprüfung des Modells mit den verfügbaren Grundwassermessdaten aus den Deltas von Ganges, Mekong und Rotem Fluss hat eine sehr gute Übereinstimmung von Prognose und Realität ergeben. Trotzdem kann auch in Gebieten,

welchen das Modell ein geringes Arsenrisiko zuweist, nicht von Null-Risiko gesprochen werden. «Das gibt es nicht», sagt Annette Johnson. Selbst eine weitere Verfeinerung des Modells, zum Beispiel mit mehr Daten aus tieferen Gesteinsschichten, könnte die Analyse von Wasserproben letztlich nicht ersetzen, sagt die Geochemikerin. «Aber Regierungen, lokale Verwaltungen oder Hilfsorganisationen können dank der Karten sehr rasch sagen, wo ein Brunnenbau heikel sein könnte.»

### Neue Risikogebiete auf Sumatra und in Myanmar

Besonders interessant ist die neue Methode für Regionen, aus denen bisher keinerlei Grundwassermessungen vorliegen. Die Schweizer Wasserforscher haben ihr Modell daher für die Insel Sumatra (Indonesien) angewendet, wo rund 100 000 km<sup>2</sup> an der Ostküste als Gebiet mit hohem Arsenrisiko resultierten. Sie haben dann in einer Region am Übergang zwischen tiefem und erhöhtem Risiko die Modellprognose mit 100 Grundwasserproben überprüft und konnten erneut eine gute Übereinstimmung der Analyseergebnisse mit dem Modell festhalten: 94 % der Brunnen in der Low-Risk-Zone wiesen eine Arsenkonzentration unter 10 µg/l auf. Auch im Irrawaddy-Delta (Myanmar) und entlang des Flusses Chao Phraya nördlich von Bangkok (Thailand) zeigen die Karten ein stark erhöhtes Risiko für zu hohe Arsen-



Mickey Sampson, RDI Cambodia

Grundwasserbrunnen in Kambodscha, wo entlang des Mekong vielerorts zu hohe Arsenkonzentrationen auftreten.

konzentrationen im Grundwasser. Von beiden Gebieten war das bisher nicht bekannt.

### Massgeschneiderte Techniken zur Entfernung

Ziel des WRQ-Projekts ist es, den Verantwortlichen einen Leitfaden zur Verfügung zu stellen, mit dessen Hilfe sie die Arsen- oder Fluorid-Thematik Schritt für Schritt angehen können: Das Erkennen des Problems u. a. mit Hilfe der neuen Risikokarten ist dabei nur der Anfang. Darum erforscht und entwickelt die Eawag auch geeignete Aufbereitungsmethoden, um die Problemstoffe effizient aus dem gepumpten Grundwasser zu entfernen. Gesucht sind sowohl auf Haushaltebene als auch für ganze Quartiere oder Gemeinden Anlagen, die der lokalen Situation angepasst sind und keinen hohen Wartungsaufwand erfordern. Neben Technik und Kosten gilt es auch soziokulturelle Aspekte zu berücksichtigen. Die beste Anlage nützt nichts, wenn sie von den Betroffenen nicht akzeptiert oder nicht richtig betrieben wird (siehe Kasten). ○ ○ ○

### Gut gemeint, falsch angepackt

Eine Strategie, um die Arsenprobleme zu umgehen, sind tiefe Brunnen, die arsenfreies Grundwasser fördern. In Bangladesch hat sich jedoch gezeigt, dass diese – oft von Hilfsorganisationen unterstützten und zentral angelegten – öffentlichen Brunnen von der Bevölkerung schlecht genutzt werden. Mit einer Befragung von 222 Haushalten im ländlichen Sreenagar hat die Eawag die Gründe dafür erforscht. Als wichtigstes Hindernis haben sich dabei soziale und kulturelle Faktoren herausgestellt. Wasserholen ist Frauenarbeit (nicht nur in Bangladesch). Doch vielerorts erlauben es religiöse Konventionen den Frauen nicht, den Hof zu verlassen, oder sie dürfen in der Öffentlichkeit nicht mit Männern reden. Diejenigen Frauen, die den Zeitaufwand für den Gang zum zentralen Brunnen auf sich nehmen, fühlen sich gemäss der Umfrage oft belästigt. Jetzt empfehlen die Forscher den Verantwortlichen, die Brunnen dezentral zu planen und mit Massnahmen wie einem einfachen Sichtschutz Rücksicht zu nehmen auf die kulturellen Normen.

Kontakt:

Dr. Annette Johnson, [annette.johnson@eawag.ch](mailto:annette.johnson@eawag.ch)

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

# Giftschlamm im Wasserreservoir

Für insgesamt über 14 Millionen Franken saniert der Kanton Zürich im Winter 2008/2009 eine Altlast im Zürichsee vor Thalwil. Der 7000 Quadratmeter umfassende Teerteppich stammt vom lokalen Gaswerk, das bis 1930 in Betrieb war. Ursprünglich ging man davon aus, dass eine Sanierung mehr schaden als nützen könnte. Eine Risikoabschätzung der Eawag hat dann jedoch gezeigt, dass es nicht nur sinnvoll, sondern dringend nötig ist, die problematischen Stoffe zu bergen, denn sie gelangen zwar langsam, aber stetig vom Sediment ins Wasser und sind eine Gefahr für das Trinkwasserreservoir See, für Wasserlebewesen und sogar für Badende.



Auf dem Ponton gelangt der Schlamm in ein Pufferbecken und wird von dort an Land zur Aufbereitung gepumpt.

Die Zone der Altlast im See ist mit einer Ölsperre gesichert. Gearbeitet wird ab einer schwimmenden Pontonplattform in einem 15 x 6 Meter grossen «Kasten», der bis zum Seegrund abgesenkt wird. Drei Taucher saugen im Schichtbetrieb die bis zu einem Meter dicke Teerschlammschicht ab – täglich werden rund 100 m<sup>2</sup> Seegrund gereinigt.





In einer grossen Halle am Ufer (rechts) wird der unter anderem mit dem Krebs erregenden Benzo[A]Pyren belastete Teerschamm gesiebt, chemisch behandelt und in einer Filterpresse (oben) entwässert. Die Reste werden in einem Hochtemperaturofen im deutschen Bremen verbrannt.

Jeweils zwei Stunden kann ein Taucher im 5°C kalten Wasser am Seegrund arbeiten. Seine Arbeit und seine Versorgung mit dem Luft-Stickstoff-Gemisch wird von den Kollegen auf dem Ponton überwacht (kleines Bild oben).

### Interdisziplinarität bietet gute Voraussetzungen

«Die Eawag ist der richtige Ort für solche komplexe Risikoabschätzungen», sagt Prof. Bernhard Wehrli zur Expertise, ob die Teerablagerungen auf dem Seegrund bleiben oder gehoben werden sollten. «Wir konnten uns auf umfangreiche Detailuntersuchungen von kantonalen und privaten Stellen abstützen. Um daraus die nötigen Schlussfolgerungen zu ziehen, war es gut, in kurzer Zeit auf das Expertenwissen aus verschiedensten Umweltdisziplinen abstützen zu können.» Beurteilt werden mussten das Umweltverhalten der Schadstoffe und ihre Verteilung im See, die Möglichkeit von Rutschungen oder die Anreicherung der Stoffe über die Nahrungskette in den Fischen. Dank der internationalen Zusammenarbeit an der Eawag war es zudem relativ einfach, Informationen zum Stand der Technik bei Sedimentsanierungen zu erhalten.

Teeröl aus alten Gaswerken enthält Krebs erregende Stoffe aus der Gruppe der polyzyklischen Aromaten. Der Teerteppich bei Thalwil lag im seichten Wasser der Uferzone. Dort wurde regelmässig Schlamm aufgewirbelt und mit Gasblasen an die Seeoberfläche gebracht, wo Ölfilme zeitweise von blossen Auge sichtbar waren. Die grösste Gefahr lauerte jedoch in grösseren Wassertiefen, wo das Sediment hätte abrutschen können. Eine solche seeinterne «Lawine» hätte das Teeröl innert Stunden im See verteilen können. Die Expertise ist zum Schluss gekommen, dass die Altlast ein grosses Risiko für das Ökosystem Zürichsee und seine Nutzer darstellt. Zudem hat die Eawag das Absaugen der verunreinigten Sedimente als geeigneten Weg für eine sichere Entsorgung beurteilt.



# Die Eawag

## 2008 durch das Jahr

**2008 wurde von der UNO zum Jahr der sanitären Grundversorgung ausgerufen, denn 2,6 Milliarden Menschen haben weltweit keinen Zugang zu elementaren sanitären Einrichtungen. Dies führt zu bedenklichen hygienischen Zuständen, insbesondere auch zur Belastung der Trinkwasserressourcen. Auf zahlreichen Besucherführungen, in Vorträgen und mit einer Wanderausstellung haben wir die Bedeutung dieser Misere aufgezeigt und dargestellt, welche Beiträge die Wasserforschung der Eawag zu ihrer Behebung leistet. Projekte wie Novaquatis, das 2008 den Transdisciplinary Award gewann, machen zudem deutlich, dass für ganzheitliche Lösungen von Wasserproblemen auch in der Schweiz noch viel Arbeit ansteht. Im Folgenden ein Rückblick auf einige ausgewählte Ereignisse.**

### Wissenschaft zum Anfassen

Über 15 000 Neugierige hat die «Nacht der Forschung» am 26. September ans Zürichseeufer und auf die Zürichseeschiffe zwischen Bellevue und Zürichhorn gezogen. Mit eigenen Ständen und Vorträgen an diesem Forschungsmarkt hat die Eawag viel dazu beigetragen, Wissenschaft im wahrsten Sinne des Wortes be-greifbar zu machen. Unter anderem gaben Sedimentbohrkerne und mit Spezialonar erstellte Karten Geheimnisse vom Seegrund preis. Mit einem kleinen Haus verbildlichten Eawag und Empa ihre gemeinsame Forschung zu Bioziden in Fassadenfarben und -putzen. An

einem Stand präsentierten wir ein neu entwickeltes Analyseverfahren für Trinkwasser, an einem anderen konnte gemessen werden, wie sich aus Abwasser Strom gewinnen liesse. Und in einer spielerischen Computersimulation mussten die sehr interessierten Besucherinnen und Besucher einsehen, dass Argumente allein nicht genügen, um einem Forschungsergebnis den Durchbruch in der Praxis zu sichern.

Die Eawag war aber nicht nur an der «Nacht der Forschung» präsent, sondern auch an diversen anderen Anlässen, von der Horwer Gewerbeschau bis zur Weltausstellung im

spanischen Zaragossa. Ausserdem vermittelten wir sowohl in Kastanienbaum als auch in Dübendorf an zahlreichen Führungen, was die Eawag ist und welche Wasserprobleme hier angepackt werden. ○○○

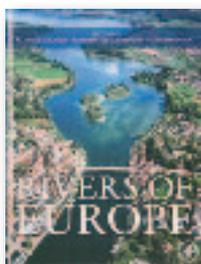
### Ingenieurabteilungen mit neuem Profil

Personelle Veränderungen und ein weltweit zunehmend kompetitives Umfeld in den Umweltingenieurwissenschaften haben eine strategische Neuausrichtung der Eawag-Ingenieurabteilungen ausgelöst. Die Abteilung Verfahrenstechnik setzt sich unter Leitung von Hansruedi Siegrist mit der Entwicklung und Modellierung von Prozessen im Abwasser- und Trinkwasserbereich auseinander. Letzteres zusammen mit der Abteilung Wasserressourcen und

Trinkwasser, denn mit der wachsenden Bedeutung der Wiederverwertung von Abwasser können die Aufbereitungsprozesse nicht mehr so klar voneinander getrennt werden. Demgegenüber konzentriert sich die Abteilung Siedlungswasserwirtschaft – seit dem 1. September unter Leitung von Max Maurer – auf die nachhaltige Weiterentwicklung des urbanen Wassermanagements. Sie erarbeitet neue Konzepte für das Management von Trinkwasser- und Abwassersystemen und untersucht die Schadstoffflüsse in urbanen Einzugsgebieten. ○○○

### Standardwerk herausgegeben

Mit «Rivers of Europe» liegt erstmals eine umfassende Betrachtung der europäischen Flüsse vor. Autoren aus 20 Ländern halfen unter Federführung der drei Eawag-Wissenschaftler Klement Tockner, Christopher T. Robinson und Urs Uehlinger mit, dieses Referenzwerk der Flusswissenschaften zu erstellen. Analog zum Bestseller «Rivers of North America» beschreibt es die 165 europäischen Einzugsgebiete mit ihrer Geschichte,



Hydrologie, Biogeochemie und Biodiversität. Jedes Kapitel greift zudem auch die Stichworte Management und Schutz auf. Diese Übersicht ist eine wichtige Grundlage für die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Sie dokumentiert unter anderem eindrücklich, wie stark die Flüsse Europas und ihre Fauna unter Druck stehen. Verlag Elsevier, 728 Seiten, Dezember 2008. ○○○

### Ausgezeichnet

Verschiedene Arbeiten der Eawag wurden 2008 international oder national ausgezeichnet und mehrere Eawag-Forschende wurden geehrt. Stellvertretend für alle seien die folgenden erwähnt: Dem Querprojekt «Novaquatis» zur separaten Urinbehandlung wurde von den Akademien der Wissenschaften Schweiz



Übergabe des Transdisciplinary Award 2008 ans Projektmanagement-Team von Novaquatis. In der Mitte die Projektleiterinnen Judit Lienert und Tove Larsen.

der mit 75 000 Franken dotierte Preis für transdisziplinäre Forschung verliehen ([www.transdisciplinarity.ch](http://www.transdisciplinarity.ch)). *Michael Berg* erhielt zusammen mit einem internationalen Team den «Best Paper Award» der renommierten Zeitschrift «Environmental Science and Technology» für eine Arbeit über die Nutzung von Chlorisotopen zur Bestimmung von Abbauvorgängen bei Chlorkohlenwasserstoffen. *Prof. Walter Giger* und das ehemalige Direktionsmitglied *Prof. René Schwarzenbach* wurden von der American Chemical Society zu «Legenden in Umweltwissenschaften» erkoren. Sie gehören damit zu einem illustren Kreis von weltweit nur 15 Wissenschaftlern, die gemäss ACS «das Denken und Handeln in der Umweltchemie in den letzten 40 Jahren massgeblich beeinflussten». *Andi Peter* wurde für seine Dissertation über Geruchs- und Geschmacksstoffe im Trinkwasser mit dem Otto-Jaag-Gewässerschutzpreis ausgezeichnet. Für die natur-

nahe Gestaltung und Pflege ihres Areals erhielt die Eawag den Preis des Naturschutzvereins Dübendorf und das Forum Chriesbach den Sonderpreis für Grüne Technologie im Rahmen des Award 2008 für Marketing + Architektur. ○○○

### Zusammenarbeit verstärkt

Mit einem «Memorandum of Agreement» hat die Eawag ihre bisher bereits gute Zusammenarbeit mit dem Unesco IHE Institute for Water Education im niederländischen Delft auf eine neue Grundlage gestellt. Die Eawag verpflichtet sich in diesem Abkommen, im Rahmen des Eawag-Partnership-Programms für Entwicklungsländer (EPP) jährlich drei Masterstudierende des IHE für ein halbes Jahr zu betreuen. Die Eawag profitiert nicht nur vom guten Ruf des Instituts in Delft. Weil sich aus den Masterarbeiten oft Dissertationen ergeben, haben wir einen direkten Zugang zu den besten und hochmotivierten Studierenden, die schliesslich «Eawag-Know-how» wieder in die Welt tragen.

Auch die Zusammenarbeit unter den Forschungsinstitutionen des ETH-Bereichs wurde 2008 weiter gestärkt: Neu übernimmt eine gemeinsame Kommission von Eawag und WSL (Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) die interne Prüfung der Projektförderungsgesuche an den Schweizerischen Nationalfonds (SNF). Seitens der Eawag sind darin vertreten: Prof. Jürg Beer (Leitung), Max Maurer, Prof. Hans Joachim Mosler, Christopher T. Robinson und Prof. Laura Sigg. ○○○

### Wissenstransfer auf allen Schienen

Nebst der Lehre an der ETH Zürich und Lausanne, an anderen Universitäten und an Fachhochschulen ist die Eawag auch auf anderen Kanälen dafür besorgt, dass hier erarbeitetes Fachwissen und Forschungsergebnisse möglichst breit genutzt werden. 1115 Zeitungsartikel, Radio- oder TV-Beiträge sind 2008 zu Forschungs-

themen aus der Eawag erschienen. Viele sind entstanden, weil Medienschaffende wissen, dass sie zu Wasserfragen hier kompetente Ge-



sprächspartnerinnen und -partner finden; andere haben wir aktiv gefördert mit Medienmitteilungen, Anlässen sowie der Herausgabe von Eawag-News, Jahresbericht und Artikeln in praxisnahen Publikationen. Vier Kurse – vom Ökotoxikologiekurs bis zum Anwenderkurs zum Thema Heizen und Kühlen mit Abwasser – fanden unter dem Label PEAK Praxisorientierte Eawag-Kurse statt. Sehr gut besucht waren der Infotag (12. September) zum Thema Trinkwasser und die Fachtagung zur Sanierung von Altlasten mit chlorierten Lösungsmitteln (14. Mai). ○ ○ ○

### Neue Personalvertretung

Die Eawag-Mitarbeitenden haben im Oktober für die Amtsdauer 2009–2012 eine neue Personalvertretung gewählt: Karin Ghilardi als Vertreterin des administrativen Personals; Jacqueline Traber und Alois Zwysig, technisches Personal, inkl. Lehrlingswesen; Tom Gonser, wissenschaftliches Personal; Simon-Lukas Rinderknecht, Doktorierende. Zurückgetreten sind Hans Peter Kohler (Vorsitz), Claudia Bänninger-Werfeli, Philippe Bradac, Christian Dinkel und Brigitte Pfister. ○ ○ ○

### Gutes Klima gefördert

Mit viel Liebe zum Detail, Kreativität und Musikalität haben die drei organisierenden Abteilungen Sandec, Cirus und Siam dem Eawag-Weihnachtsfest 2008 erneut zu einer ganz eigenen Note verholfen und den Anlass für die 350 Gäste zum unvergess-

lichen Event gemacht. Unter dem Motto «Eawagadougou» inszenierte das Team eine gewitzte Weltreise, auf welcher die besten Doktorandinnen und Doktoranden für die Eawag gesucht wurden. Weitere Feste wie die «Anstaltsweihnacht» und der «International Food Event» in Kastanienbaum oder die Doktorandenparty haben das Ihre zu einem Klima und einem Zusammenhalt am Insti-

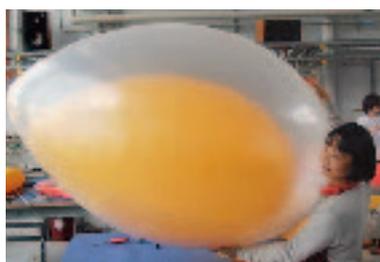


Die Eawagadougou-Weltreise am «Weihnachtsfest» 2008 führte auch über Bayern.

tut beigetragen. Auf einer ganz anderen Ebene, aber nicht weniger intensiv tut das auch das gut ausgebaute und rege genutzte Sportangebot von Yoga bis zu Volleyball. ○ ○ ○

### Forschung mit Künstleraugen

Neun Monate lang hat sich die schweizerisch-chinesische Doppelbürgerin Ping Qiu im Dialog mit den Wissenschaftlerinnen und Wissen-



schaftern mit Forschungsinhalten und -methoden an der Eawag auseinandergesetzt. Als Stipendiatin im Programm «Swiss artists in labs»

hat die Künstlerin bildhafte, bisweilen überraschende Zugänge zum Wasser und zu drängenden Wasserproblemen geschaffen. So thematisiert die Installation «Wasserkreislauf» mit Fontänen, die konzertiert aus Toilettenschüsseln schiessen, die Frage eines nachhaltigen Umgangs mit Wasser. Die Installation «Atmen» (Bild) entstand, nachdem Qiu unter dem Mikroskop die Entwicklung verschiedener Wasserkleinstlebewesen studiert hatte. Von der unkonventionellen Zusammenarbeit profitieren beide Seiten: «Durch Ping Qius Fragen verstehen wir Forschenden jetzt viel besser, wie andere unsere Arbeit sehen, und lernten so selbst dazu», sagt Christopher T. Robinson, Spezialist für Fließgewässer. Bereits plant Qiu ein Projekt, welches den umgekehrten Weg beschreitet: Wissenschaftler sollen für eine gewisse Zeit unter Künstlern in einem Atelier weilen und ihre Ideen oder Fragen künstlerisch umsetzen. [www.artistsinlabs.ch](http://www.artistsinlabs.ch)

### Eawag unterwegs

Die Eawag-«Schulreise» nach Biel, Erlach und zur St.-Peters-Insel vom 27. Mai widmete sich der Juragewässerkorrektur und der aktuellen Diskussion um die Regulierung der drei Seen. Glaubhaft versicherten die Verantwortlichen den kritischen Wasserforschern: Dass es im August 2007 am Bielersee und entlang der Aare zu grösseren Überschwemmungen gekommen ist, hätte auch mit einer veränderten See-Regulierung kaum vermieden werden können. Die Regenmengen in diesem nassen Sommer waren schlicht zu gross. Für die Gewässerökologen spannend waren die Videobilder aus der Fischtreppe am Regulierwehr in Biel/Nidau. Die Direktübertragung ins Sitzungszimmer der Bernischen Kraftwerke hingegen musste gestoppt werden: Statt über Kilowattstunden und Franken zu reden, schauten die Verwaltungsräte nur noch den stromaufwärts kämpfenden Alet und anderen Fischen zu. ○ ○ ○

## Aus dem Personal

### In den Ruhestand getreten

Aufgrund des Primatwechsels bei der Pensionskasse Publica sind 2008 eine Reihe langjähriger Eawag-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter in den teils vorzeitigen Ruhestand übergetreten, unter ihnen auch Ueli Bundi, der die Eawag von 2004–2006 geleitet hat (S. 54). Nebst den im folgenden separat Erwähnten waren dies Erwin Grieder (Surf), Heidi Gruber (Stab), Therese Haenni (Personal), Beatrice Hürlimann (TD), Arthur Scheiber (TD), Andreas Steffen (TD), Jutta Studer (Bib), Christa Surber (Bib).

**Markus Boller:** Kulturingenieur Markus Boller war nur zwei Jahre Assistent am Institut für Kulturtechnik der ETH. Dann hat er sich in Delft am IHE zum Sanitary Engineer weitergebildet und kam 1973 als Abwasseringenieur an die Eawag. Er doktortierte hier zur Flockungsfiltration und übernahm die Gruppe Verfahrenstechnik. Die weitergehende Phosphorelimination blieb lange eines seiner dominierenden Themen und er wurde europaweit zu *dem* Experten auf dem Gebiet. Nach seinen Studien zur physikalisch-chemischen Abwasserreinigung folgten Projekte zur Nitrifikation mit verschiedensten Biofilmsystemen. Dann kamen – wie er selbst die Abfolge mit Humor beschreibt – «die Trinkwasser- und die Regenwasserjahre und schliesslich in den letzten sieben Jahren alles zusammen in einem Mix mit NoMix.» Im Trinkwasserbereich hat sich Markus Boller unter anderem um die Wasseraufbereitung mit Aktivkohle

gekümmert und früh die Chancen der Membrantechnologie erkannt, die er später auch für die Urin-Aufbereitung eingesetzt hat. Speziell gekümmert hat er sich um die Behandlung von Karstwasser, und er war Initiator des Projekts «Wave21 – Wasserversorgung im 21. Jahrhundert».

In seiner Forschung zum Regenwasser standen nicht nur Behandlungsverfahren, etwa für Strassen- oder Dachabwasser, im Vordergrund, sondern auch Massnahmen an der Quelle, für die er oft die Zusammenarbeit mit Herstellern, Verbänden und Behörden gesucht hat. Markus Boller und seine Gruppen haben zweifellos viel zum Erfolg der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft und zum guten Ruf der Eawag beigetragen; zudem hat er sich immer stark in der Lehre engagiert. 1996 wurde ihm dafür der Professorentitel verliehen. 1994–2000 war er Leiter der Ingenieurabteilung, dann der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft. Als «Eawag-Samichlaus» gilt er als Vater des traditionellen Weihnachtsfests, und seine gereimten Reden zum Jahresende oder zum Abschied von Kollegen haben Kultstatus.

**Peter Bossard:** Bereits 1972 hat Peter Bossard an der Eawag in Kastanienbaum seine Diplomarbeit verfasst. Anschliessend hat er über den Methan- und Sauerstoffhaushalt des Lungernsees doktortiert und wurde 1979 in der Abteilung Limnologie eingestellt. 1989–2001 war er «Managing Editor» der Zeitschrift «Aquatic Sciences» und 1994/95 übernahm er interimistisch die Leitung der Abteilung Limnologie. Als Forscher beschäftigte sich Bossard vor allem mit den Algen als Primärproduzenten. Über 20 Jahre lang untersuchte er im Vierwaldstättersee die Primärproduktion. Eine Zeit lang hat er für die Rubrik Wissenschaft und Technik der NZZ Artikel verfasst. Das hat ihn zu einem guten Vermittler für die Studentinnen und Studenten gemacht.

Mitte der 1970er-Jahre zählte er zu den Mitbegründern des «Projekt-orientierten Studiums» an der ETH – damals eine revolutionäre Sache, die bei einigen etablierten Professoren anfänglich auf Widerstand stiess, rückblickend aber als Wegbereiter für Fallstudien und andere neue Formen im Studium der Naturwissenschaften gelten kann.

**Hans Rudolf Bürgi:** Hansruedi Bürgi stiess 1968 nach einem Studium der Naturwissenschaften an der ETH Zürich und einer Diplomarbeit in Limnologie bei Prof. Otto Jaag für seine Dissertation zur Eawag. Da er sehr gut zeichnen konnte, musste er für Eawag-Direktor Jaag gleich als Erstes das Saprobienheft mit mehr als 100 Tuschzeichnungen neu gestalten. In seinen 40 Jahren an der Eawag haben ihn vor allem die verschiedenen Aspekte der Planktoninteraktionen interessiert. Wichtige Projekte waren die Planktonauswertung im Rahmen der internationalen Gewässerschutz-Kommission für den Bodensee und die Erarbeitung eines Litoralmoduls und der Biologischen Interaktion im Projekt MODEC. Daneben war er sehr aktiv in der Lehre. Als Dozent an der ETH nahm er bis zu 11 Lehraufträge pro Jahr wahr. Bekannt ist Bürgi aber nicht nur bei den Studenten: Seine mit Heinz Bachmann erstellten Mikrografie- und Elektronenmikroskop-Bilder von Algen und Invertebraten sind in unzähligen Berichten und Büchern abgedruckt worden. Bürgi hat sich mit Erfolg stark gemacht für einheitliche Probenahmen. So gehen die normierten Zooplanktonnetze auf seine Initiative zurück. «Die aufwändigste Auswertung nützt nichts, wenn bei der Probenahme untaugliche Geräte verwendet werden», war Hansruedi Bürgis Grundsatz.

**Oskar Wanner:** Das interdisziplinäre Forschen an der Eawag kam Oskar Wanner sehr entgegen. Der ETH-Maschineningenieur hat nämlich auch Biologie studiert und eine Dissertation über das Hormon Oxytocin erarbeitet am Institut für Molekularbiologie und Biophysik. 1979 ist er an die damalige Abteilung «Informatik» der Eawag gekommen, die nicht verwechselt werden darf mit der heutigen Supportabteilung Informatik. Er wurde bei vielen Projekten zugezogen, wenn es um die Lösung systemanalytischer und mathematischer Probleme ging. Besonders am Herzen lag ihm die Modellierung von Biofilmen, ein Thema, zu dem er über 25 Jahre hinweg immer wieder geforscht hat. Die letzten Jahre hat er sich in der Ingenieurabteilung mit der Gewinnung von Wärme aus Abwasser befasst (S. 15). Da hat sich der Kreis zum Thema Biofilme geschlossen, denn oft sind es Biofilme, die auf den Wärmetauschern Probleme verursachen.

### Neu an der Eawag

**Kristin Schirmer:** Per 1. Januar 2008 hat die habilitierte Biologin Kristin Schirmer die Leitung der Abteilung Umwelttoxikologie übernommen. Die letzten vier Jahre zuvor hat sie am deutschen Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ das Departement Zelltoxikologie geleitet. Das Interesse der 41-Jährigen galt und gilt den Prozessen in Zellen, die von giftigen Substanzen ausgelöst werden. «Nur wenn wir verstehen, was in den Zellen auf dem Protein- und DNA-Level geschieht, können wir abschätzen, welchen Einfluss die giftigen Substanzen, die auch in der Umwelt vorkommen, auf das ganze Lebewesen haben», sagt sie. Die Kombination von Zellbiologie und Umwelttoxikologie erlaubt es ihr, auch der Frage nachzugehen, was tiefe Konzentrationen von chronisch präsenten Schadstoffen oder Schadstoffcocktails für Auswirkun-

gen haben. Besonderen Wert legt Kristin Schirmer auf die Ausbildung der Studenten und die Praxisnähe ihrer Forschung: Mit ihrem Team hat sie ein Verfahren zur Umweltüberwachung patentiert, welches erlaubt, Zeit-integrierend biologische und chemische Parameter zu erfassen. Ihr Mann Mario Schirmer ist im März 2008 auch zur Eawag gestossen; er forscht in der Abteilung Wasserressourcen + Trinkwasser.

**Almut Gerhardt:** Sie ist seit Juni 2008 an der Eawag und leitet das am 30. Oktober eröffnete neue Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL (S. 4). Neben einer akademischen Laufbahn in aquatischer Ökotoxikologie hat die promovierte Biologin ihr eigenes Beratungs- und Forschungsunternehmen «Lim-Co International» geführt. Die Pionierdimension, welche mit dem Aufbau des Zentrums verbunden ist, reizt sie besonders, sagt sie. Sie will Produkte aus der Ökotoxikologie-Forschung testen und weiterentwickeln, wie z.B. sensitive Tests und Messmethoden zur Chemikalienbewertung oder für das Gewässermonitoring. Almut Gerhardt ist überzeugt, dass die Verwurzelung des Zentrums im ETH-Bereich eine grosse Chance ist. So bleibe man stets am Puls der Forschung und könne auf neuen Resultaten aufbauend praxistaugliche Produkte mitentwickeln. Gegenüber Privaten habe das unabhängige Zentrum jedoch mehr Freiheiten, weil es nicht ausschliesslich marktorientiert arbeiten müsse, sagt Gerhardt – ein wichtiger Aspekt für eine hohe Glaubwürdigkeit bei Behörden und in der Öffentlichkeit.

**Sam Arey:** Jeremy Samuel Arey ist Umweltingenieur und promovierter Umweltchemiker. Er kam vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) als Post-Doktorand an die EPFL

und wurde im Juli vom ETH-Rat zum Assistenzprofessor mit Tenure Track für Chemische Umweltprozesse an die Fakultät für natürliche und urbane Systeme der EPFL gewählt. Der 34-Jährige leitet das LMCE «Environmental Chemistry Modeling Laboratory», das gemeinsam getragen wird von der Eawag-Abteilung Umweltchemie und dem Institut für Umweltwissenschaften der EPFL. Ziel des LMCE ist es, das Verhalten von xenobiotischen organischen Verbindungen in der Umwelt sowie deren Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit besser erklären und berechnen zu können. Eawag und EPFL verstärken damit ihre Zusammenarbeit.

**Martin Ackermann:** Der promovierte Biologe hatte seit 2006 eine vom Nationalfonds geförderte Professur für Mikrobielle Evolution an der ETH Zürich. Im Juli wurde er vom ETH-Rat zum ausserordentlichen Professor für Molekulare Mikrobielle Ökologie an die ETH Zürich gewählt. Seine Forschungsaktivitäten nimmt der 38-Jährige in der Abteilung Umweltmikrobiologie an der Eawag wahr. Seine Gruppe arbeitet an grundlegenden Fragen zur Biologie von Bakterien und kombiniert Methoden aus der Molekularen Mikrobiologie mit Evolutionsbiologie und Ökologie. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Arbeitsteilung in einfachen Bakteriengemeinschaften und auf den Reaktionen von Bakterien auf Stress. ○○○

# Ueli Bundi: Dank an den Brückenbauer

**Ende Mai 2008 ist Ueli Bundi in den «Ruhestand getreten». Keiner an der Eawag hat sich über so lange Zeit und so nachhaltig für die Gewässer in der Schweiz eingesetzt. Ueli Bundi hat sich dafür stark gemacht, dass Probleme ganzheitlich angegangen und Lösungen im Dialog mit den verschiedenen Akteuren gefunden werden – immer mit viel persönlichem Engagement. Mit seinem breiten Wissen und seiner integrierenden Art hat er das Rollenverständnis der Eawag geprägt und deren Glaubwürdigkeit massgeblich gestärkt.** Prof. Dr. Bernhard Wehrli, Direktion

Ueli Bundi kam 1972 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an die Eawag, wo er mit damals noch neuen Life-Cycle-Betrachtungen die Möglichkeiten des Recyclings und eines integralen Ressourcenmanagements aufzeigte. Bald wandte er sich aber Konzepten zu, die das Management der Gewässer angingen.

## Gewässerschutz 2000

Das von ihm geleitete und vorangetriebene Projekt «Gewässerschutz 2000» war bahnbrechend für die schweizerischen Umweltbestrebungen und letztlich für die Gewässerschutzgesetzgebung. Seine frühe Studie zur Entwicklung der Phosphorbelastung des Greifensees belegte die Notwendigkeit eines Phosphatverbots in Waschmitteln, das dann in den 1980er-Jahren stufenweise umgesetzt wurde. Er war eine treibende Kraft in der Erarbeitung von wis-

senschaftlich begründeten Qualitätszielen für die Gewässer und von Methoden zur Bewertung von Fliessgewässern. Im Zusammenhang mit der Diskussion um ökologisch begründete Mindestwassermengen thematisierte er erstmals

die zentrale Bedeutung der Abflussdynamik. Diese Konzepte wurden zwar anfänglich kritisiert, sind heute aber allgemein anerkannt.

## Ganzheitliche Lösungen

In den 90er-Jahren initiierte und leitete Ueli Bundi gemeinsam mit Kollegen anderer Institutionen ein transdisziplinäres Projekt zum nationalen Stickstoffhaushalt, in welchem weltweit erstmals Leitlinien für eine umfassende Stickstoffpolitik in den

Bereichen Landwirtschaft, Verkehr, Verbrennung und Abwasser hergeleitet wurden. Seine Fähigkeit, Exponenten aus verschiedenen Disziplinen an einen Tisch zu bringen und mit ihnen Lösungskonzepte zu erarbeiten, war eine seiner grossen Stärken. Sein breites Wissen und sein für alle spürbares, persönliches Engagement für die Gewässer brachten ihm grosse Anerkennung und auch viele Freundschaften ein. «Ueli war für uns ein toller Ansprechpartner, da er einen grossen Überblick hatte, die Zusammenhänge sah und sich nicht, wie viele andere Forschende, im Detail verlor», sagt Roger Biedermann, langjähriger Weggefährte und ehemaliger Kantonschemiker der Kantone AR, AI, GL, SH.

## Prägend für die Eawag

Ueli Bundi prägte nicht nur das Bild der Eawag nach aussen. Über viele Jahre leitete er die internen Planungsprozesse und gestaltete mit den Direktoren Stumm und Zehnder die Entwicklung der Eawag massgeblich mit. Ab 1990 war er Mitglied der Direktion. In diese Zeit fällt – unter anderem – die Planungsphase für das Eawag-Hauptgebäude Forum Chriesbach. Es ist vor allem ihm zu verdanken, dass die Ideen zur Nachhaltigkeit dieses Gebäudes mit grosser Konstanz und Beharrlichkeit durchgezogen wurden.

Von 2004 bis 2006 übernahm Ueli Bundi das Amt als Direktor. Trotz des «ad interim»-Status führte er die Eawag zusammen mit seinen Kollegen in der Direktion aktiv und scheute sich nicht vor wichtigen Entscheidungen. Sein grosses Arbeitspensum hielt ihn nicht davon ab, immer ein Ohr für Anliegen aus der Basis zu haben, bei den Fachpersonen im Haus Input zu suchen und allen zum



Ausdruck zu bringen, dass er ihre Arbeit schätze.

Mit seiner Pensionierung verlässt Ueli Bundi die Eawag noch nicht ganz. Insbesondere vertritt er die Wasserforschung in der von ihm mitinitiierten Wasser-Agenda 21 – auch dies eine Plattform für eine ganzheitliche Schweizer Wasserpolitik. ○○○

**Man kann Uelis Verdienste für den umfassenden Gewässerschutz in der Schweiz nicht hoch genug einschätzen.**

Roland Schertenleib, über 30 Jahre mit Ueli Bundi an der Eawag, von 1999–2006 in der Direktion.

# Chancengleichheit und Genderfragen

Im April 2008 wurde die Gleichstellungsbeauftragte an der Eawag durch ein ständiges Komitee für Chancengleichheit und Genderfragen ersetzt. Das Ziel des «Equal Opportunity Committee» (EOC) bleibt dasselbe: Frauen und Männer sollen an der Eawag die gleichen Chancen haben und in allen Bereichen ausgeglichen vertreten sein.

Das verlangt vor allem nach einer Förderung der Frauen in verantwortungsvollen Forschungspositionen und in leitenden Funktionen. Dass sich nun mehr Personen aus verschiedenen Abteilungen mit Genderfragen befassen, ist eine Chance, um das Bewusstsein für diesen Bereich zu stärken und rascher zu konstruktiven Lösungen zu kommen.

## Gegen den Ausstieg der Frauen aus der Forschung

Als vorrangige Massnahmen will das EOC die Karriereförderung verbessern, die «work life balance» stärken und ein Mentoring für Frauen in der Wissenschaft, namentlich für Post-Doktorandinnen, einführen. Der letzte Punkt ist deshalb wichtig, weil unter den Doktorierenden nahezu gleich viel Frauen wie Männer sind, spätestens nach einer Postdoc-Zeit aber (zu) viele Frauen aus der Forschung aussteigen. Auch ein neuer Leitfaden für Anstellungen soll helfen, dass die Zahl der angestellten Wissenschaftlerinnen im Verhältnis zur Zahl der Doktorandinnen mithält. Das EOC der Eawag pflegt durch eine ständige Vertretung engen Kon-

takt mit der Gruppe für Chancengleichheit des ETH-Bereichs. Das gemeinsame Projekt «Fix the leaky pipe line» wurde von Gabriella Meier Bürgisser koordiniert, die bis Oktober 2008 das EOC der Eawag vertreten hat. [www.fix-the-leaky-pipeline.ch](http://www.fix-the-leaky-pipeline.ch)

## Über die Erfolge reden

Ziele, Erfolge und Protokolle des EOC sind für alle Mitarbeitenden auf dem internen Bereich der Webseite einsehbar. Das schafft Transparenz und soll zu weiteren Schritten motivieren. Denn nicht wenige Belange sind bereits heute an der Eawag vorbildlich gelöst, zum Beispiel die 2006 neu erstellte Eawag-Empa-Kindertagesstätte direkt auf dem Areal. ○○○

*Dr. Natalija Miladinovic, Koordination EOC*

# Naturlabor vor der Tür

Die Eawag nutzt ihre Umgebung zur Darstellung naturnaher Konzepte und neuer Siedlungsraumgestaltungen. Eigene Forschungserkenntnisse werden dabei so weit wie möglich berücksichtigt und sichtbar gemacht. Das Umwelt-Team initiiert und koordiniert solche Massnahmen. So wurde im Dezember 2008 mit Hilfe von Mitarbeitenden ein neuer Teich angelegt, weil ein bestehender Teich

den Sanierungsarbeiten am Laborgebäude weichen musste. Der neue Teich ist der Auftakt zu einem Naturlabor vor den Türen der Eawag. Dieses wird im Rahmen des Projekts zur Revitalisierung des Chriesbachs geplant, zusammen mit dem Kanton Zürich, der Flussbau AG, den as-Landschaftsarchitekten und Weiteren. Es wird im Sommer 2009 öffentlich aufgelegt. Erste Bauarbeiten am Bach sind für das Frühjahr 2010 vorgesehen. Die Arbeiten beginnen bei der Mündung in die Glatt und schliessen einen neuen Geh- und Radweg zum Eawag/Empa-Areal entlang des Chriesbachs mit ein. Das Projekt wird wissenschaftlich begleitet. Ein Monitoring-Programm zur Gewässerökologie und zum Grundwasser ist angelaufen.

## Auch für die Öffentlichkeit

Ab 2011 wird im Bereich des Naturlabors eine «Arena» mit Sitzstufen entstehen, die von der Öffentlichkeit sowie für den Unterricht mit Schulklassen und Studenten genutzt werden kann. Bis dann wird auch ein weiterer Teich näher beim Bach

erstellt, der bei Hochwasser jeweils überflutet wird. Die Eawag beteiligt sich finanziell an diesem Projekt. Die Kosten für die Chriesbach-Revitalisierung werden vom Kanton Zürich getragen. Für die zusätzliche Ausgestaltung des Naturlabors z.B. mit einem Aquarium sind wir noch auf der Suche nach Sponsorengeldern.

Wie viel Vielfalt eine naturnahe Umgebung bringen kann, beweisen die Fotos von Heinrich Bührer. Der ehemalige Mitarbeiter war lange Mitglied des Umwelt-Teams und hat die urbane Natur rund um die Eawag in den vier Jahreszeiten dokumentiert. Seine Bilder hat er in einer umfangreichen Datenbank abgelegt und kommentiert. Im Herbst 2008 hat das Umwelt-Team einen kleinen Ausschnitt davon in einer Ausstellung an der Eawag gezeigt. ○○○

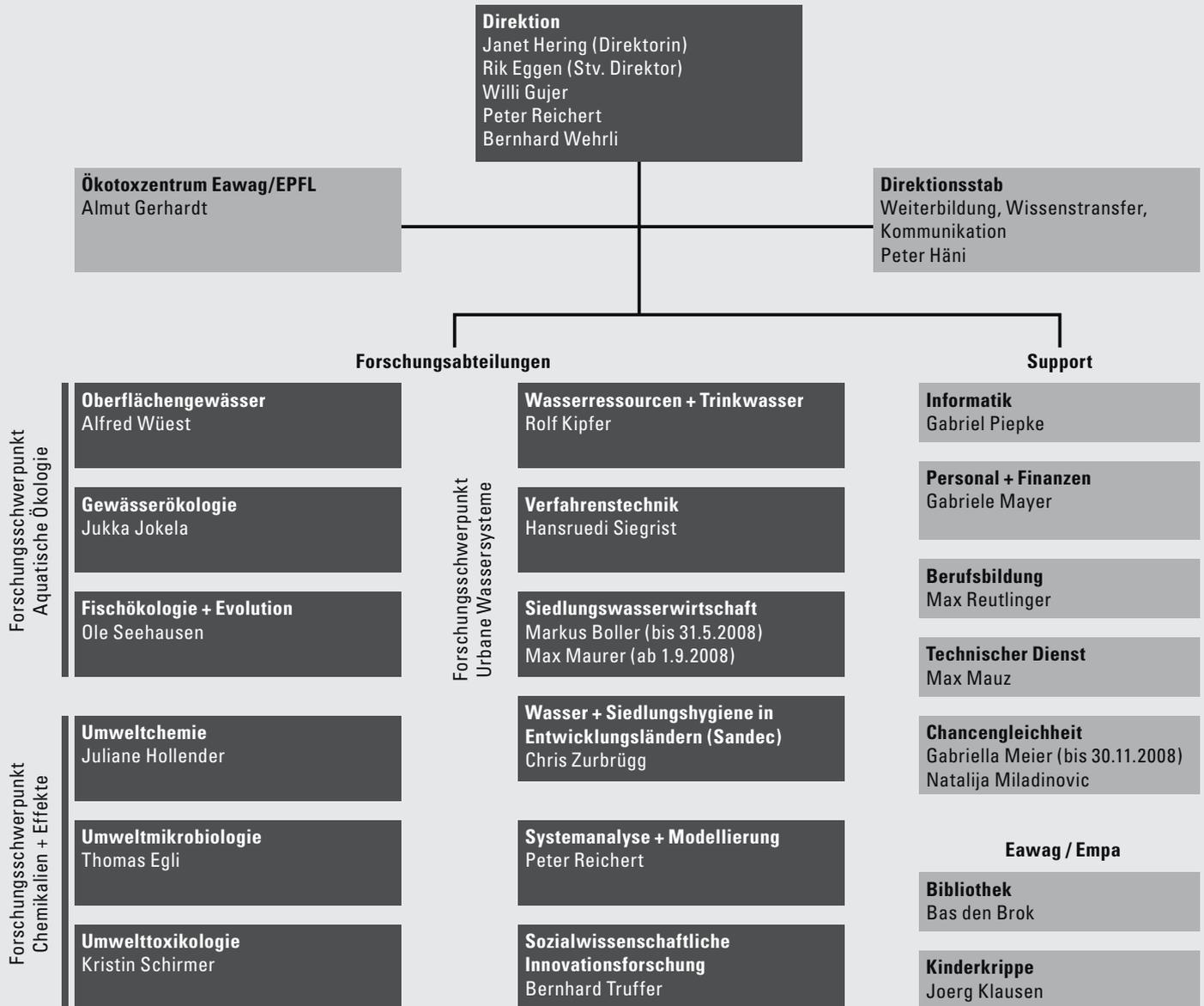
*Dr. Thomas Lichtensteiger,  
Umweltbeauftragter der Eawag*

Projekte des Umwelt-Teams und Verbrauchszahlen (Stoff- und Energieumsatz) der Eawag: [www.umwelt.eawag.ch](http://www.umwelt.eawag.ch)



Der neue Teich im April 2009. Im Hintergrund läuft die Sanierung des Laborgebäudes.

# Organisation



## Beratende Kommission



**André Bachmann**  
(Präsident)  
Direktor BMG  
Engineering AG,  
Schlieren



**Ursula Brunner**  
Rechtsanwältin,  
Ettler Brunner Suter  
Bächtold, Zürich



**Erika Forster**  
Ständerätin,  
St. Gallen



**Günter Fritz**  
Leiter Environment,  
Health and Safety,  
Ciba Spezialitäten-  
chemie, Basel



**Peter Arbenz**  
Präsident Helvetas



**Jürg Meyer**  
Direktor  
Gemeindeverband für  
Abwasserreinigung  
Region Luzern



**Willy Geiger**  
Vizedirektor  
Bundesamt für  
Umwelt (Bafu), Bern

**Direktion**



**Janet Hering**  
Direktorin



**Rik Eggen**  
Stv. Direktor



**Willi Gujer**



**Peter Reichert**



**Bernhard Wehrli**

**Direktionsstab**



**Peter Häni**  
Leitung



**Herbert Güttinger**  
Weiterbildung



**Isabel Wiedmer**  
Wissenstransfer



**Sandra Ziegler Handschin**  
Kommunikation



**Almut Gerhardt**  
Leitung

**Ökotoxzentrum**

**Forschungsabteilungen**



**Alfred Wüest**



**Jukka Jokela**



**Ole Seehausen**



**Juliane Hollender**



**Thomas Egli**



**Kristin Schirmer**



**Rolf Kipfer**



**Hansruedi Siegrist**



**Max Maurer**



**Chris Zurbrugg**



**Peter Reichert**



**Bernhard Truffer**

**Support**



**Gabriel Piepke**



**Gabriele Mayer**



**Max Reutlinger**



**Max Mauz**



**Natalija Miladinovic**



**Bas den Brok**



**Joerg Klausen**

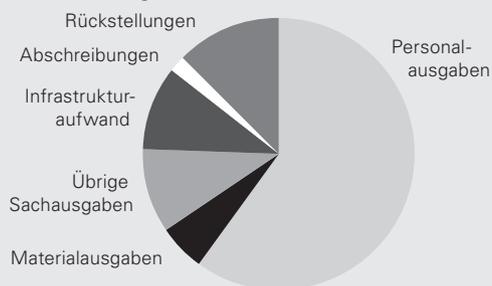
# Finanzen

Erfolgsrechnung	2006	2007	2008
Personal	35 203 743	37 868 533	39 498 230
Material	2 911 752	3 260 866	3 693 473
Übriger Sachaufwand	5 556 131	6 781 444	6 582 893
Infrastrukturaufwand	5 160 395	6 710 435	6 466 633
Abschreibungen	871 718	1 082 462	1 315 815
Rückstellungen	10 088 456	296 041	8 169 630
<b>Aufwand</b>	<b>59 792 195</b>	<b>55 999 781</b>	<b>65 726 674</b>
Bundesbeitrag	49 795 822	<sup>1</sup> 38 491 577	54 429 850
Drittmittel	13 481 019	11 564 156	13 626 998
Diverse Erlöse	1 010 742	1 655 624	935 584
<b>Ertrag</b>	<b>64 287 583</b>	<b>51 711 357</b>	<b>68 992 432</b>
<b>Ergebnis</b>	<b>4 495 388</b>	<b>-4 288 424</b>	<b>3 265 758</b>

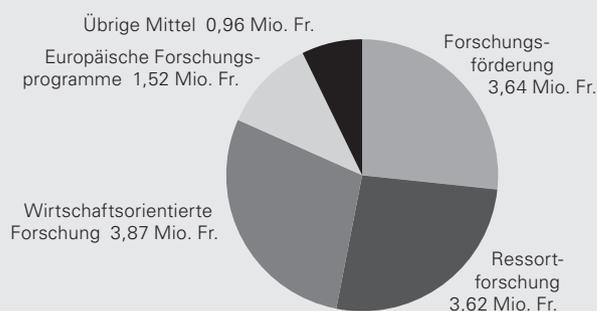
<sup>1</sup> neu ohne Baumittel

Investitionen	2006	2007	2008
Immobilien	6 883 301	13 890 051	1 484 507
Mobilien	2 439 510	1 663 563	2 047 665
Informatik	47 821	270 031	317 508

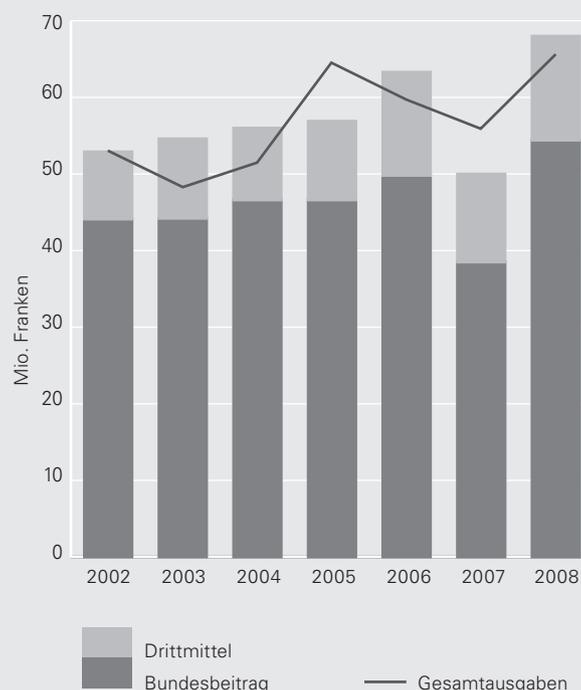
## Ausgabenverteilung 2008



## Drittmittel 2008



## Entwicklung 2002–2008



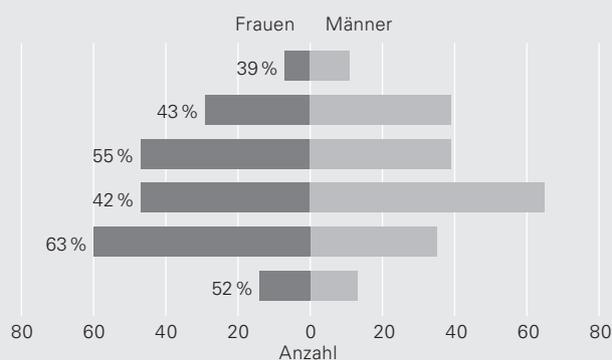
# Personen

Personal	Personen	Frauen	Ausländer/ innen	Vollzeit- äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren <sup>1</sup>	7	1	4	6
Titularprofessorinnen und -professoren	13	2	5	13
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	146	55	81	129
Doktorandinnen und Doktoranden	72	36	40	71
Technisches Personal	80	39	12	68
Administratives Personal	68	57	13	45
Lernende	26	14	1	26
<b>Total</b>	<b>412</b>	<b>204</b>	<b>156</b>	<b>358</b>
Mitarbeitende Eawag-Empa-Kinderkrippe	17	17	2	14
Praktikantinnen und Praktikanten <sup>2</sup>	35	13	25	35

<sup>1</sup> 6 davon sind nicht oder nicht direkt von der Eawag angestellt; inkl. 1 Assistenzprofessur mit EPFL

<sup>2</sup> unterschiedlich lange Anstellungsdauern

Altersstruktur	Frauen	Männer	Total
60–65	7	11	18
50–59	29	39	68
40–49	47	39	86
30–39	47	65	112
20–29	60	35	95
15–19	14	13	27
<b>Total</b>	<b>204</b>	<b>202</b>	<b>406</b>



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49 %	16	11	27
50–79 %	52	8	60
80–99 %	31	19	50
100 %	105	164	269

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	131	122	253
EU-Länder	53	66	119
Übriges Ausland	20	14	34

# Aktivitäten

	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
Betreute Dissertationen	107	108	119
Betreute Diplomarbeiten	104	108	97
Publikationen in referierten Zeitschriften	194	202	253
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	49	55	55
Spin-offs	1	–	1
Patente, Lizenzverträge	–	1	–
Dienstleistungsaufträge	38	28	31
Preise	24	19	12
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	93	75	81
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	37	39	52
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	10	4	2
Peak-Kurse (Weiterbildung)	6	5	4
Fachtagungen	45	54	39
Mitarbeit in Kommissionen	201	216	178

Detailliertere Angaben und die Jahresberichte zum Download unter [www.eawag.ch/jahresbericht](http://www.eawag.ch/jahresbericht)

Dieser Jahresbericht zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus Forschung, Lehre und Beratung an der Eawag. Er ist auch in Englisch erhältlich. Unter [http://library.eawag-empa.ch/eawag\\_publications.html](http://library.eawag-empa.ch/eawag_publications.html) finden Sie eine Datenbank mit allen Eawag-Publikationen samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel. Darin enthaltene «Open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden. Suche nach Autor, Titel oder Stichwort möglich. Bei Problemen: [library@eawag-empa.ch](mailto:library@eawag-empa.ch)

Über die Suchfunktion auf der Homepage [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch) können die E-Mail-Adressen aller Mitarbeitenden abgefragt werden.

#### Impressum

Konzeption, Redaktion und alle nicht gezeichneten **Texte**: Andri Bryner, Eawag  
Seiten 10 und 15: Beat Jordi, Biel  
Seiten 14 und 28: Annette Ryser, Liebefeld  
Seite 25: Mitarbeit Nicole Basieux, Murten  
Seite 40: Martina Bauchrowitz, Eawag

Alle nicht gezeichneten **Fotos**: Eawag  
Seite 2: ETH Zürich, Susi Lindig  
Seiten 18/19 und 46/47: Stefan Kubli, Zürich  
Seite 18, Rechtswissenschaftliche Fakultät: Baudirektion Kanton Zürich  
Seite 32, springende Seeforelle: B at App, Orpund  
Seite 33, Seeforellen: Michel Roggo, Freiburg  
Umschlag: Günter Bolzern, Bülach

Grafiken: Yvonne Lehnhard, Peter Nadler  
Gestaltungskonzept: TBS Identity, Zürich  
Layout: SLS Nadler, Fällanden  
Druck: Mattenbach AG, Winterthur  
Copyright: Eawag, Mai 2009  
Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:  
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2008».

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

Eawag, Überlandstrasse 133, Postfach 611, 8600 Dübendorf  
Telefon +41 (0)44 823 55 11, Fax +41 (0)44 823 50 28

Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum  
Telefon +41 (0)41 349 21 11, Fax +41 (0)41 349 21 68



**eawag**  
aquatic research **ooo**

Eawag  
Überlandstrasse 133  
Postfach 611  
8600 Dübendorf  
Telefon +41 (0)44 823 55 11  
Fax +41 (0)44 823 50 28  
[www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)  
[info@eawag.ch](mailto:info@eawag.ch)

