eawag
aquatic research

# Jahresbericht 2011

Eawag: Das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs

Die Eawag ist das Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs. Zu diesem gehören neben den beiden Hochschulen ETH Zürich und ETH Lausanne (EPFL) die vier selbstständigen Forschungsinstitutionen Empa, PSI, WSL und Eawag. Die Eawag befasst sich – national verankert und international vernetzt – mit Konzepten und Technologien für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser und den Gewässern. In Zusammenarbeit mit Hochschulen, weiteren Forschungsinstitutionen, öffentlichen Stellen, der Wirtschaft und mit Nichtregierungsorganisationen trägt die Eawag dazu bei, ökologische, wirtschaftliche und soziale Interessen an den Gewässern in Einklang zu bringen. Sie nimmt damit eine Brückenfunktion wahr zwischen Wissenschaft und Praxis. An den Standorten Dübendorf (Zürich) und Kastanienbaum (Luzern) sind insgesamt 467 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Forschung, Lehre und Beratung tätig.

Umschlagsbild
Ein von der Eawag weiterentwickeltes Durchflusszytometer könnte die Überwachung des Trinkwassers revolutionieren. Das Verfahren liefert wesentlich realistischere Ergebnisse als die herkömmliche Plattierungsmethode – und dies innert weniger Minuten. Hans-Ulrich Weilenmann (rechts) von der Forschungsabteilung Umweltmikrobiologie bespricht mit einem Mitarbeiter der Wasserversorgung Zürich den Praxiseinsatz in der Trinkwasseraufbereitungsanlage Lengg (siehe auch Seite 42).

# Inhalt

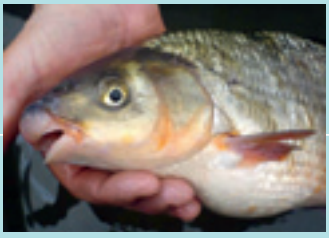

2 Wort der Direktorin
4 Höhepunkte 2011

**8 Forschen**
10 Den Kleinsten gefällts wieder im See
11 Mehrere Arten einer Art
12 Blick zurück hilft für die Zukunft
14 Der verkabelte Fluss
15 Ökologie und Wasserbau Hand in Hand
16 Aus trüber Brühe wird Trinkwasser
18 Das WC der Zukunft kommt aus China
19 Viele Bakterien im Trinkwasser
20 Dünger aus der Kläranlage
22 Aufs Ganze gehen
23 Es geht auch ohne Tierversuche
24 Das grosse Inventar der Seefische

**26 Lehren**
28 Zusammenarbeit ist grossgeschrieben
30 Nicht für die Schublade
32 Zur richtigen Zeit am richtigen Ort

**34 Beraten**
36 Spurenstoffe im Abwasser beurteilen
38 Welcher Grenzwert für Pestizide?
39 Nase ist nicht gleich Nase
40 Schaden und Nutzen abwägen
42 Zellen zählen wird schneller und einfacher

**44 Die Eawag 2011**
45 Eawag im Dialog
45 Auszeichnungen
46 Infrastruktur
46 Umweltmanagement
47 Chancengleichheit
48 Personelles
49 ETH-Bereich
50 Organisation
51 Personen
51 Aktivitäten
52 Finanzen



# Studiere die Vergangenheit, wenn du die Zukunft erahnen willst

*Konfuzius*

**Wasser für die Gesundheit und das Wohlergehen des Menschen, Wasser für das Funktionieren der Ökosysteme und wissenschaftlich fundierte Strategien bei Nutzungskonflikten: Die drei übergeordneten Schwerpunkte der Eawag für die Jahre 2012 bis 2016 stützen stark auf die vergangenen Aktivitäten und Errungenschaften ab. Sie verlangen aber auch eine Stärkung im Bereich Modellierung und eine Erweiterung der Sozialwissenschaften.**

2011 feierte die Eawag ihren 75. Geburtstag – eine gute Gelegenheit, über die zukünftige Ausrichtung nachzudenken: Welche unserer bisherigen Aktivitäten sind auch heute noch relevant? Welchen neuen Herausforderungen müssen wir uns stellen?

Wie sich die Wasserqualität auf die menschliche Gesundheit und die aquatischen Lebensräume auswirkt, war für die Eawag von Anfang an die Leitfrage. Eine solide Umweltbeobachtung war stets zentral bei der Suche nach Antworten. In Zeiten des Klimawandels und neuer Herausforderungen wird sie noch an Bedeutung gewinnen.

## Umweltbeobachtung für ein besseres Verständnis

Seit den 1970er-Jahren beteiligt sich die Eawag im Rahmen des Naduf-Programms an der Überwachung der Qualität von Fliessgewässern. Dass sich das nationale Messnetz auch für die Erfassung von Mikroverunreinigungen eignet, zeigt eine Studie der Eawag (Seite 36). Die Notwendigkeit leistungsfähiger Messmethoden offenbaren unsere Untersuchungen an Algen im Zürichsee (Seite 10). Künftige Umweltveränderungen lassen sich nur bewerten, wenn man den ursprünglichen Zustand kennt. Die angelaufene Bestandsaufnahme der Fischarten in Schweizer Seen hat genau das zum Ziel (Seite 24). Korallen und Sedimente dienen als Archive und liefern Informationen über vergangene Bedingungen (Seite 12), während neue molekularbiologische Methoden die versteckte genetische Diversität und evolutive Auswirkungen von Umweltbedingungen ans Licht bringen (Seiten 11 und 39).

Die Interpretation solcher Beobachtungsdaten verlangt, dass man die verschiedenen Einflussfaktoren und deren Wechselwirkungen berücksichtigt und versteht. Dabei sind vergleichende Laborexperimente eine wertvolle Grundlage. So lassen sich in der Ökotoxikologie mit modernen molekularen Methoden auf der Ebene des gesamten Organismus Reaktionen analysieren (Seite 22). Im Weiteren arbeitet die Eawag an Alternativen zu den herkömmlichen, auf Tierversuchen basierenden Toxizitätstests (Seite 23).

## Integrative Lösungen für eine höhere Wirksamkeit

Die Eawag legt grossen Wert darauf, umsetzbare Lösungen zu entwickeln, die im Einklang mit den jeweiligen gesellschaftlichen Bedürfnissen in den Industrie- wie

in den Entwicklungsländern stehen. Dabei sind Lösungen gefragt, die auf einer soliden wissenschaftlichen Basis beruhen und zugleich ganzheitlich und sektorenübergreifend sind.

Dass das Aufeinandertreffen verschiedener Interessen nach integrativen Lösungen verlangt, zeigt die Wasserkraftnutzung, wo der wachsende Bedarf an erneuerbarer und $CO_2$-neutraler Energie im Gegensatz steht zum Schutz und zur Wiederherstellung naturnaher Wasserlebensräume (Seite 40). Sektorenübergreifend ist auch das Projekt zur Rückgewinnung von Stickstoff aus Abwasser und dessen Wiederverwendung als Dünger (Seite 20). Eine praktikable Lösung zur Erfassung von Mikroverunreinigungen erarbeitete die Eawag mit dem Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser (Seite 36). Die sektorenübergreifende Perspektive und die Berücksichtigung der Bedürfnisse der verschiedenen Akteure sind auch für das Oekotoxzentrum zentrale Anliegen (Seite 38).

Um Umweltprobleme effektiv und ganzheitlich zu lösen, ist die Zusammenarbeit mit den Fachleuten in der Praxis unabdingbar. Eine solche Zusammenarbeit ermöglichte zum Beispiel, an der Thur ein Untersuchungsgebiet für Langzeiterhebungen aufzubauen (Seite 14). Der Erfahrungsaustausch mit lokalen Behörden und der Bevölkerung in Kenia erleichterte Feldversuche zu einer neuen Technologie der Trinkwasserbehandlung (Seite 16). In China untersuchte die Eawag die sozialwissenschaftlichen Aspekte einer dezentralen Wasseraufbereitung zusammen mit lokalen Wissenschaftern (Seite 18).

Wichtig ist zudem, Technologien und Wissen für die Allgemeinheit verfügbar zu machen, etwa in Form eines Leitfadens für die Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten im Bereich Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Seite 16). Oder von Werkzeugen zur Erleichterung von Entscheidungsfindungsprozessen, wie sie im Rahmen des Projekts «Integrales Flussgebietsmanagement» entwickelt wurden (Seite 15). Wissenstransfer zu Akteuren und Fachleuten findet auch über die praxisorientierten Eawag-Kurse (Peak) statt.

## Ein Blick in die Zukunft

Der Entwicklungsplan 2012 bis 2016 der Eawag sieht drei hauptsächliche Handlungsfelder vor: Wasser für die Gesundheit und das Wohlergehen des Menschen, Wasser für das Funktionieren der Ökosysteme und wissenschaftlich fundierte Strategien bei Nutzungskonflikten. Das erfordert eine Verstärkung der Modellierungskapazitäten und ausgehend vom bisherigen Engagement in der Innovationsforschung eine Erweiterung der Sozialwissenschaften. Diese Aktivitäten, die Schaffung einer Assistenzprofessur für Policy Analysis gemeinsam mit der Universität Bern und eine Expansion der Umweltökonomie, bilden das Fundament der künftigen Forschungsabteilung für Umweltsozialwissenschaften.

Janet Hering, Direktorin

1

# Höhepunkte 2011

**1** Der Eawag-Infotag zum 75. Jubiläum des Wasserforschungsinstituts fand im Hauptgebäude Forum Chriesbach in Dübendorf statt. Ein breites Spektrum an Vorträgen zeigte die aktuellen Forschungsthemen der Eawag und regte an zum Dialog zwischen den Besucherinnen und Besuchern aus Wissenschaft und Praxis. Im Zentrum des Jubiläums stand die langfristige und erfolgreiche Zusammenarbeit der Eawag-Forschenden mit Fachleuten aus der Praxis.

**2** Bei einem Gästeanlass zum Jubiläum überbrachten Vertreterinnen und Vertreter von Wirtschaft, Politik, Verwaltung und Wissenschaft der Eawag ihre Glückwünsche.

**3** Direktorin Janet Hering überreichte dem langjährigen Eawag-Forscher und emeritierten ETH-Professor Jürg Hoigné am Gästeanlass den Eawag Award. Sie ehrte damit den Chemiker für seinen Einsatz und seine Verdienste in Forschung, Lehre und Beratung im Bereich der Wasser- und Abwasserbehandlung.

**4** Zusammen mit Gästen, Pensionierten und ehemaligen Doktorandinnen und Doktoranden aus dem In- und Ausland feierten die Eawag-Mitarbeitenden das Jubiläum mit einem stimmungsvollen Fest. Theater, Ansprachen und Live-Musik waren Teil des farbenfrohen Anlasses in Dübendorf.

**5** Der Geburtstag schon von aussen sichtbar: Drei Fahnen in drei Sprachen vor dem Hauptgebäude Forum Chriesbach künden das Jubiläum an.

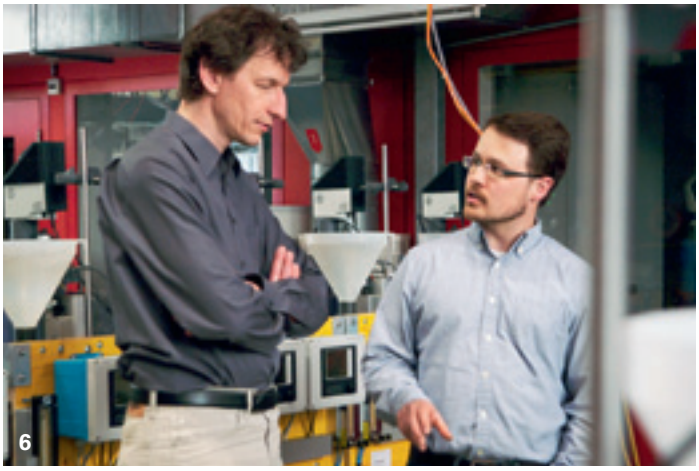
**6** Aus Anlass des Jubiläums hat die Eawag eine Eawag-Postdoc-Stelle geschaffen. Diese Position wird in einem kompetitiven Auswahlverfahren an eine junge Wissenschafterin oder einen jungen Wissenschafter mit exzellenter Reputation und neuen Forschungsansätzen vergeben. Der Amerikaner George Wells erhielt als Erster eine solche Postdoc-Stelle und startete seine Arbeit 2011 in der Abteilung Verfahrenstechnik. Das Bild zeigt den Ingenieur im Gespräch mit Professor Eberhard Morgenroth.

2

3

4

5


6

7

**7** Die Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec) wurde 2011 für ihre Arbeit in Entwicklungsländern mit dem IWA Development Solutions Award der International Water Association (IWA) geehrt. Die IWA vergibt diesen Preis in Anerkennung für herausragende Innovationen oder Beiträge in Wissenschaft und Praxis, die eine Wirkung in Ländern mit niedrigen und mittleren Einkommen erzeugt haben. Sandec-Abteilungsleiter Christian Zurbrügg (links) konnte im November 2011 am zweiten IWA Development Congress in Kuala Lumpur die Auszeichnung von IWA-Präsident Glen Daigger entgegennehmen.

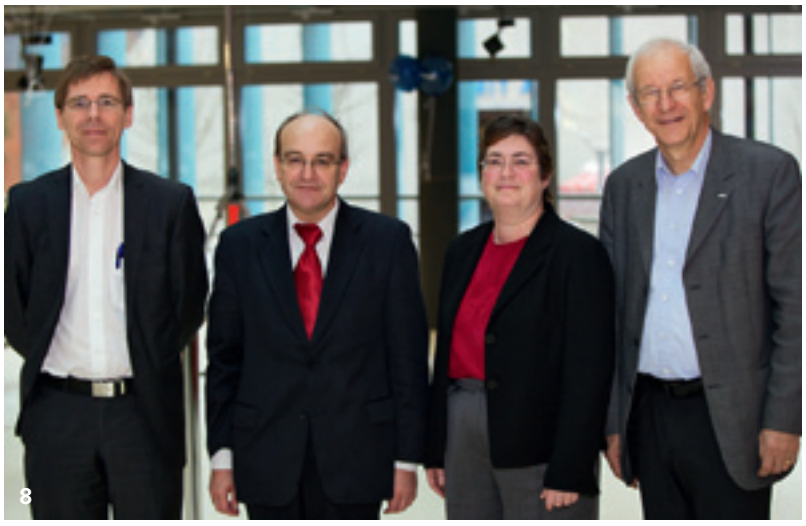
**8** Janet Hering hat 2011 ihre zweite Amtszeit als Direktorin begonnen. An einem Apéro gratulierten ETH-Rat-Präsident Fritz Schiesser (Zweiter von links) sowie PSI-Direktor Joël Mesot (links) und ETHZ-Präsident Ralph Eichler (rechts) als Vertreter des ETH-Bereichs Janet Hering zu ihrer Wiederwahl durch den Bundesrat.

**9** Junge Eawag-Wissenschafterinnen und -Wissenschafter erhalten immer wieder Auszeichnungen für ihre herausragenden Arbeiten. So konnte zum Beispiel Saskia Zimmermann von der ETH-Rektorin Heidi Wunderli den Otto-Jaag-Gewässerschutz-Preis 2011 für ihre Studie zur Abwasserbehandlung entgegennehmen. Weitere Auszeichnungen auf Seite 45.

**10** Die Eawag hat die bestehende Zusammenarbeit mit der Universität Bern verstärkt. 2011 ernannte die Universität Bernhard Truffer, Leiter der Abteilung Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung der Eawag, zum Titularprofessor. Mit der von ihr mitfinanzierten Anstellung von Karin Ingold als Assistenzprofessorin für Policy Analysis am Institut für Politikwissenschaft der Universität Bern baute die Eawag zudem die sozialwissenschaftliche Forschung aus.

**11** Eine Gruppe von Forschenden der Eawag wurde 2011 für ihre Publikation über Mikroverunreinigungen in der Umwelt vom Wissenschaftsjournal ES&T ausgezeichnet. Damian Helbling, Hans-Peter Kohler, Kathrin Fenner, Juliane Hollender und Heinz Singer erhielten den Award for ES&T's Top Paper in Environmental Science für ihre Publikation «High-throughput identification of microbial transformation products of organic micropollutants».

**12** Mit der ETH Zürich verbindet die Eawag eine enge Zusammenarbeit im Bereich von Forschung und Lehre. Am öffentlichen Programm des Science-City-Treffpunkts der ETH zum Thema Wasser durfte die Eawag daher nicht fehlen. Forschende brachten sich mit Kurzvorlesungen ein und an einer speziellen Führung konnten Interessierte in Dübendorf Wasserforschung live erleben. Im Bild: Der Forscher Michael Wächter (Mitte) diskutiert mit einem Besucher das Prinzip der Nährstoffgewinnung aus Urin.


8

9

10

11

12

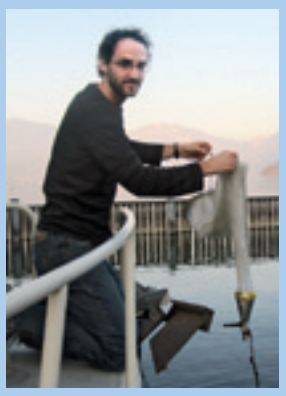
# Forschen
# Lehren
# Beraten

Die Eawag verstärkte 2011 ihre nationale und internationale Vernetzung und konnte ihre Rolle als weltweit führende Wasserforschungsinstitution bestätigen. Die Wissenschafterinnen und Wissenschafter haben an mehr als 15 Konferenzen und Tagungen im In- und Ausland in Organisationskomitees mitgewirkt und bei zahlreichen Konferenzen Vorträge gehalten. Sie veröffentlichten eine leicht höhere Zahl an wissenschaftlichen Publikationen als im Vorjahr. Dabei stieg die Anzahl Publikationen mit höherem Impact Factor. Eawag-Expertinnen und -Experten nahmen 2011 ausserdem in 127 wissenschaftlichen Netzwerken und in 34 wissenschaftlichen Kommissionen Einsitz und bauten auch damit die nationale und internationale Zusammenarbeit weiter aus.

2011 hat die Eawag die strategische Ausrichtung ihrer Forschung definiert und sich für drei übergeordnete Handlungs- und Forschungsbereiche entschieden: Wasser für Gesundheit und Wohlergehen, Wasser für das Funktionieren der Ökosysteme und Entwicklung von Strategien bei Nutzungskonflikten. Beim Thema Wasser und Energie werden die Nutzungskonflikte und Chancen in den nächsten Jahren besonders im Vordergrund stehen.

## Blake Matthews
## Ökologie und Evolution verbinden

«Evolution geschieht permanent – und die Folgen davon zeigen sich bereits nach kurzer Zeit», sagt Blake Matthews. Der Umweltwissenschafter untersucht, wie sich aquatische Ökosysteme verändern, wenn ihre Umwelt variiert, etwa das Klima. Aber auch die Evolution hat einen Einfluss. Um diesen zu erforschen, verglich Matthews in Versuchstanks von bis zu 1000 Liter Volumen zwei Stichling-Arten. Sie stammen vom gleichen Vorfahren ab, unterscheiden sich aber darin, ob sie Plankton oder am Boden lebende Organismen fressen. Der Forscher konnte zeigen, dass beide Fischarten ihren Lebensraum verändern können, beispielsweise die Produktivität des Ökosystems. Und beide Arten tun es auf unterschiedliche Weise. «Nicht nur treiben Umweltveränderungen die Evolution an, umgekehrt prägen also auch evolutionäre Prozesse die Umwelt», sagt Matthews. Der Kanadier will die beiden Forschungsbereiche Ökologie und Evolutionsbiologie deshalb näher zusammenführen. «Wir wissen erst wenig über die Zusammenhänge, zum Beispiel wie sich die Evolution auf die Ökosystemfunktionen, etwa die Trinkwasserqualität, auswirkt», so Matthews.

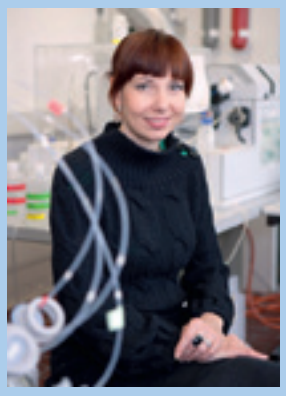


## Nele Schuwirth
## Mit Modellen Gewässer managen

«Mich fasziniert, die Zusammenhänge in der Natur mathematisch abzubilden», sagt Nele Schuwirth. Ein Computermodell kann jedoch nie so genau sein wie die komplexe und von Zufällen geprägte Natur. «Ich versuche deshalb immer, ein Modell zu schaffen, das einerseits realitätsnah ist, andererseits aber möglichst einfach», erklärt die studierte Geologin. Ihre Modelle dienen etwa dazu, Flüsse ökologisch zu bewerten. Anhand von Parametern wie Temperatur, Abfluss oder Licht berechnet Schuwirth für bestimmte Flussabschnitte, welche wirbellosen Kleinlebewesen dort vorkommen. So soll sich in der Zukunft voraussagen lassen, wie Renaturierungsmassnahmen die Ökologie im Fluss verändern. Zudem erarbeitet die Forscherin Methoden, die dabei helfen, in komplexen Situationen Lösungen zu finden – auch wenn sich verschiedene Zielsetzungen entgegenstehen. So verlangen etwa die Ziele Wasserqualität, Biodiversität oder Stromgewinnung nach unterschiedlichen Massnahmen. «Für jedes Modell brauche ich Daten aus ganz verschiedenen Themenbereichen», sagt Schuwirth. Die nötigen Informationen findet sie häufig bei ihren Forscherkolleginnen und -kollegen. Schuwirth: «Eine komfortable Situation: Aus praktisch allen Bereichen der Wasserforschung finde ich einen Experten im Haus.»

## Lenny Winkel
## Den Spurenelementen auf der Spur

«China ist ideal, um Selen zu erforschen», sagt die Geochemikerin Lenny Winkel. Teile des Landes gehören zu den selenreichsten Gebieten der Erde, andere wiederum zu den selenärmsten. «Wie sind so grosse Unterschiede auf kleinem Raum möglich?», fragt sich Winkel. Die Forscherin interessiert sich für den Kreislauf des für die Gesundheit wichtigen Elements, denn: «Je mehr davon in einem Gebiet vorhanden ist, desto mehr können wir über die Nahrung zu uns nehmen.» Eine ihrer Hypothesen für die ungewöhnliche Selenverteilung auf dem Globus: In den Ozeanen gelöstes Selen wird über Plankton in die Atmosphäre abgegeben und von Wind und Wolken über weite Strecken transportiert, bis es irgendwo vom Regen ausgewaschen wird. Die Zusage, den Selenkreislauf zu erforschen, erhielt Winkel im Rahmen einer Förderprofessur des Schweizerischen Nationalfonds – auch dank ihrer Forschung zu einem anderen Element: Arsen. Dieses ist in Südostasien natürlicherweise im Boden vorhanden. Gelangt es von dort ins Grundwasser, gefährdet es die Gesundheit der Anwohner. «Wir konnten den Arsengehalt im Grundwasser voraussagen, indem wir Daten zu Geologie und Bodeneigenschaften in ein Computermodell einbetteten», erklärt Winkel. Während das Projekt von Partnern vor Ort weitergeführt wird, arbeitet die Forscherin mit Selen bereits an ihrem nächsten Vorhaben.



# Den Kleinsten gefällts wieder im See

**Die Bekämpfung der Überdüngung und steigende Temperaturen begünstigen im Zürichsee eine wachsende Biodiversität des Planktons. Genau unter Beobachtung stehen die neuen Arten bei der Wasserversorgung, denn unter ihnen sind Organismen, die giftige Stoffe produzieren können.**

Fanden sich in den 1970er-Jahren rund 40 Phyto- und nur gerade 7 Zooplanktonarten im Zürichsee, so waren es 2008 über 100 pflanzliche und 15 tierische Arten. Parallel zum Anstieg der Biodiversität dieser im Seewasser schwebenden Kleinstorganismen wuchs auch ihre totale Biomasse. Das haben Eawag-Forschende zusammen mit Fachleuten der Wasserversorgung Zürich (WVZ) nachgewiesen.

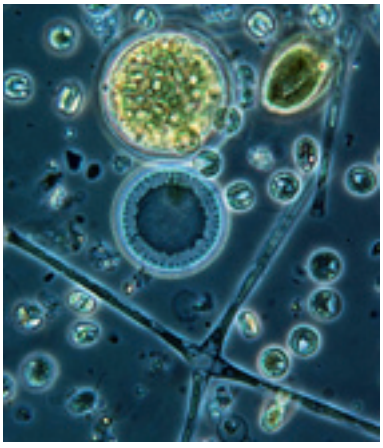
## Lange Datenreihe

Möglich gemacht hat die Untersuchung eine aussergewöhnlich lange Reihe von chemischen, physikalischen und biologischen Daten, welche die WVZ seit 1977 über der tiefsten Stelle im See erfasst. In 14 Tiefen von der Oberfläche bis 135 Meter werden unter anderem regelmässig Temperaturen, pH-, Phosphor-, Stickstoff- und Lichtwerte gemessen. Dazu werden Proben von Phyto- und Zooplankton ausgezählt, analysiert und klassiert – zum grossen Glück für die Forschung über die ganze Zeit mit identischen Verfahren und über weite Zeiten auch immer von denselben Fachleuten. Mit aufwändigen statistischen Methoden haben die Wissenschafter jetzt die treibenden Faktoren aus dem Datensatz herausgelesen.

## Mehr Nischen für mehr Arten

Charakteristisch für den zeitlichen Verlauf seit 1977 sind vor allem eine leichte, aber stetige Zunahme der Wassertemperaturen (um rund 0,2 Grad) und eine deutliche Abnahme der Phosphorkonzentrationen (von rund 90 auf 20 Mikrogramm pro Liter). Zudem schwanken die Phosphorkonzentrationen heute über die Saison hinweg weniger als früher; ihre Bandbreite ist aber über verschiedene Seetiefen grösser geworden. All diese Befunde haben die steigende Artenvielfalt des Phytoplanktons begünstigt und zu stabileren Populationen geführt als noch vor 30 Jahren. Laut Projektleiter Francesco Pomati aus der Abteilung für aquatische Ökologie sind – vereinfacht gesagt – im See mehr ökologische Nischen entstanden, in welchen auch konkurrenzschwächere Organismen Raum, Licht und Nahrung zum Überleben finden. Früher hat sich das Algenwachstum auf die obersten Wasserschichten beschränkt.

Die grössere Artenvielfalt des pflanzlichen Planktons hat dann ihrerseits die wachsende Artenzahl beim Zooplankton, das sich vom Phytoplankton ernährt, gefördert. Dies obwohl steigende Wassertemperaturen eher zu einer Abnahme der Biodiversität beim Zooplankton führen. Gewässerbiologe Pomati ist überzeugt, dass die Resultate aus dem Zürichsee auch für andere, ähnlich tiefe Seen Gültigkeit haben. «Und sicher wird unsere Arbeit die Diskussion über nachteilige Effekte der vom Menschen verursachten Umweltveränderungen bereichern», sagt er.



*Plankton ist das kleinste pflanzliche und tierische Leben im freien Wasser. Seine Vielfalt in Schweizer Seen ist riesig.*

## Unter Beobachtung

Unter den Profiteuren der veränderten Verhältnisse sind auch Arten, die nicht von allen gern gesehen werden, zum Beispiel die Burgunderblutalge *Planktothrix rubescens,* die toxische Mikrozystine produzieren kann. Diesem Cyanobakterium kommen die stabilere thermische Schichtung des Sees und die Versorgung mit Phosphat in tieferen Wasserschichten zugute. Seine Zunahme wird von der Wasserversorgung Zürich speziell überwacht. «Wir beobachten die Entwicklung sehr genau, besonders in denjenigen Tiefen, wo Seewasser für die Wasserversorgung angesaugt wird», sagt der Mikrobiologe Oliver Köster von der WVZ. Grund zur Beunruhigung gibt es aber für die Konsumentinnen und Konsumenten sicher nicht, denn schon heute sorgen Filter und Oxidationsmittel wie Ozon bei der Seewasseraufbereitung zuverlässig dafür, dass die Organismen und ihre toxischen Inhaltsstoffe nicht in die Zürcher Wasserleitungen gelangen.

Kontakt:
Dr. Francesco Pomati,
francesco.pomati@eawag.ch

## Blaualgenblüte im Greifensee

Die schwimmende Messplattform im Projekt Aquaprobe bringt Licht in Werden und Vergehen von Algenpopulationen. Erstmals muss nicht auf Stichproben abgestellt werden, sondern es können praktisch zu jeder Zeit aus jeder Seetiefe Befunde automatisch erfasst und an Land übermittelt werden. Denn die Massenentwicklung einzelner Arten an der Seeoberfläche kann innert weniger Tage ablaufen. 2011 hat die Plattform auf dem zürcherischen Greifensee eine solche Blüte der Blaualge *Microcystis aeruginosa* erfasst. Francesco Pomati und sein Team konnten zeigen, wie sich Blaualgen in 10 bis 20 Metern Seetiefe bereits im Juli stark vermehrt haben und dann Anfang August massenhaft an der Oberfläche. Zeitweilig bildete sich auf dem See ein Schaumteppich und das Wasser war milchig-trüb. Im Kontakt mit den kantonalen Fachstellen und der Limnologischen Station der Universität Zürich hat die Eawag mitgeholfen, die Situation zu beurteilen. Da der entsprechende Algenstamm keine toxischen Stoffe abgesondert hatte, warnte das Kantonale Labor zwar vor allergischen Reaktionen bei empfindlichen Personen; es musste aber kein Badeverbot ausgesprochen werden.

www.ae.ethz.ch/research/aquaprob

# Mehrere Arten einer Art

**Naturschutz zielt auf das Wohlergehen von Arten ab. Doch nicht selten bestehen diese aus Gruppen, die sich morphologisch zwar sehr ähnlich sehen, aber verschiedene ökologische Ansprüche haben. Solche kryptische Arten gilt es bei Fördermassnahmen zu berücksichtigen.**

Die biologische Art ist die wichtigste Währung im Naturschutz. Mit geeigneten Massnahmen will man eine grosse Artenvielfalt erhalten, bedrohte Arten schützen und fördern, invasive Arten eindämmen. Eine Art erkennt man in der Regel als solche, weil sich ihre Mitglieder morphologisch, also bezüglich ihres Körperbaus und Aussehens, sehr ähnlich sind. Doch im Zuge moderner Analysemethoden der Genetik und Molekularbiologie zeigt sich zunehmend, dass das, was gemeinhin unter dem Deckmantel der gleichen Morphologie als Art daherkommt, nicht selten ein sehr heterogenes Gebilde ist: genetisch verschiedene Gruppen, deren Individuen sich nur innerhalb ihres Verbandes fortpflanzen können, aber nicht mit Individuen der anderen Gruppen. Fachleute sprechen in einem solchen Fall von kryptischen Arten.

## Rekonstruierte Besiedlung

Ein solches Beispiel ist die häufige Bachflohkrebs-Art *Gammarus fossarum.* Unter diesem Namen existieren drei kryptische Arten, prosaisch als Typ A, B und C bezeichnet. *Gammarus fossarum* lebt in den kleineren Flüssen und Bächen Zentraleuropas und spielt als Beute für Fische und Zersetzer von organischem Material eine Schlüsselrolle in aquatischen Ökosystemen. Im Rahmen ihrer Dissertation an der Abteilung Aquatische Ökologie hat Anja Westram die versteckten Spezies von *Gammarus fossarum* in der Schweiz genauer unter die Lupe genommen.

Die Biologin untersuchte mithilfe genetischer Analysen, wo welche *Gammarus*-Typen vorkommen. «Die drei Typen haben mehrheitlich verschiedene Verbreitungsgebiete», sagt Westram. «Typ A siedelt im Osten im Einzugsgebiet des Rheins, Typ B tritt vor allem in der Westschweiz auf. Dazwischen gibt es eine Kontaktzone, wo beide Typen gemeinsam auftreten.» Nur an drei Standorten ganz im Westen der Schweiz fand die Wissenschafterin den Typ C. Sie geht davon aus, dass die heutige Verbreitung der einzelnen Kryptospezies das Resultat einer Wiederbesiedlung nach der letzten Eiszeit vor rund 10 000 Jahren ist. Demnach könnte Typ A in einem eisfreien Refugium im Donaubecken die Kaltzeit überdauert und sich mit dem Rückzug der Gletscher von dort aus wieder ausgebreitet haben, während Typ B sich von Südwesten her seinen Lebensraum zurückerobert hatte.

Genaue Kenntnisse über kryptische Arten hülfen nicht nur, die Verbreitungsgeschichte einer Spezies zu rekonstruieren, betont Westram. Sie seien vor allem für einen wirkungsvollen und zielführenden Naturschutz äusserst wichtig. «Kryptische Arten können in ihren ökologischen Ansprüchen, ihrer Physiologie oder ihrem Verhalten deutlich voneinander abweichen», sagt die Forscherin. «Dies gilt es bei Schutzmassnahmen unbedingt zu berücksichtigen, besonders wenn es sich um Schlüsselarten oder bedrohte Arten handelt.»

## Unterschiedlich gefährdet

Solche Unterschiede zeigen sich auch bei *Gammarus fossarum*. So gibt es Hinweise, dass Typ A eher steinige Lebensräume besiedelt, während Typ B Pflanzen und Schlamm vorzieht. Westram konnte überdies nachweisen, dass sich Typ-A-Populationen genetisch wesentlich stärker voneinander unterscheiden als jene von Typ B. Das deute darauf hin, dass die Populationen von Typ A untereinander viel isolierter seien und zwischen ihnen wenig genetischer Austausch stattfinde. Laut der Forscherin ist dies nur teilweise auf geografische Barrieren zurückzuführen, die einem solchen Austausch im Wege stehen. Vielmehr weisen die Resultate darauf hin, dass Typ A weniger mobil ist und sich daher seltener Individuen verschiedener Populationen paaren. Dadurch konnten sich diese aber auch stärker an die jeweiligen lokalen Bedingungen anpassen, weil nicht immer wieder neue Genvarianten in ihren Genpool gelangten.

*A, B oder C? Zu welcher kryptischen Art dieser Bachflohkrebs gehört, lässt sich anhand des Aussehens nicht bestimmen.*

Diese Differenzierung macht den Typ A allerdings vermutlich verletzlicher gegenüber Umweltveränderungen und anfälliger dafür, lokal auszusterben. Mit dem Verlust einer lokalen Population könnten auch einzigartige Genvarianten verlorengehen, die in anderen Populationen nicht vorkommen. Ein solches Ereignis würde deshalb für Typ A – und das gesamte Nahrungsnetz, dessen Bestandteil er ist – schwerer wiegen als für Typ B, bei dem sich die genetische Vielfalt gleichmässiger über die Populationen verteilt. «Das Beispiel *Gammarus fossarum* macht deutlich, dass Fördermassnahmen im Naturschutz sich oft nicht pauschal für eine Art anwenden lassen, sondern dass die unterschiedlichen Bedürfnisse und Begebenheiten kryptischer Arten berücksichtigt werden müssen», sagt Westram. ○○○

Kontakt:
Prof. Jukka Jokela, jukka.jokela@eawag.ch

# Blick zurück hilft für die Zukunft

**Eine gewaltige Vulkaneruption in Ostanatolien vor 200 000 Jahren, eine Häufung verheerender Hochwasser in den Schweizer Alpen vor 2500 Jahren oder eine plötzliche Änderung der Meereszirkulation im Nordatlantik nach 1970 – dank moderner Methoden erlauben Seesedimente oder Tiefseekorallen präzise Einblicke in die Vergangenheit. Die Erforschung von Klimaarchiven fördert das Verständnis für laufende Entwicklungen und schärft Prognosen.**

Vom Baldeggersee im Mittelland bis zum Fälensee am Fusse des Säntis oder zum Grimselsee im Berner Oberland, vom Lauerzersee im Norden bis zum italienischen Lago di Garlate im Süden – aus 20 alpinen und voralpinen Seen haben die beiden Doktorierenden Stefanie Wirth und Lukas Glur seit 2008 Sedimentkerne ins Labor gebracht und analysiert. Die abgelagerten Schichten dienen ihnen als geologisches Archiv, das bis 12 000 Jahre zurückreicht. Im Rahmen ihres vom Nationalfonds unterstützten Projekts haben die beiden Wissenschafter aus all den Proben vor allem diejenigen Schichten herausgesucht, die von Hochwasserereignissen zeugen, so genannte Turbidite. Das sind gröbere Ablagerungen zwischen dem feineren Seeschlamm, vereinfacht gesagt: die chaotischen Ereignislagen innerhalb der ruhigen Sedimentabfolge. Denn Hochwasser spülen in kurzer Zeit viel frisch erodiertes Material mit, das sich, von einem Trübestrom transportiert, auch mitten im See am Grund absetzt. Über 4000 solcher Lagen hat das Forscherteam gefunden.

## Übereinstimmung mit Messdaten

Hydrologische Messdaten gibt es seit rund 150 Jahren, Aufzeichnungen von historischen Hochwasserkatastrophen, etwa in Klöstern, gehen gut 500 Jahre zurück. Diese Zeitspanne ist bezogen auf den Untersuchungszeitraum und die Abfolge von natürlichen Klimaschwankungen kurz. Aber sie hat gereicht, um die Analysen von Glur und Wirth zu überprüfen: Die aus den 20 Seen gewonnenen Hochwasserdaten stimmen bezüglich Häufigkeit und Ausmass in diesen Jahren sehr gut überein mit den bekannten Aufzeichnungen und Messungen. Erstmals liegt jetzt also ein Datensatz vor, der dank dieser «Eichung» auch für die restlichen 9500 Jahre seit der letzten Eiszeit verlässlich Auskunft gibt über extreme Niederschlagsereignisse und Hochwasser im alpinen Raum. Das ist nicht nur für Versicherungsmathematiker interessant.

*Sedimentkernstechen im Trüebsee am Fusse des Titlis und Auswertungen an einem aufgeschnittenen Kern.*

## Eher gemütliche Warmzeit

Neue Klimamodelle deuten auf eine Häufung und Intensivierung von Starkregen hin, die mit der prognostizierten Erwärmung einhergehen. Es liegt nahe, die bekannte nacheiszeitliche Warmzeit vor 5000 bis 8000 Jahren genauer unter die Lupe zu nehmen. Damals lagen die Jahresmitteltemperaturen in den Alpen bis zu einem Grad höher als im Durchschnitt des 20. Jahrhunderts. Die Periode könnte für den Vergleich mit den aktuellen Zukunftsszenarien nützlich sein. Wie alle Schichten wurden daher auch diese Sedimentlagen mit der C14-Methode datiert und ausgewertet. Erstaunlicherweise zeigen sowohl die Daten aus den südlichen als auch aus den nördlichen Alpen just für diese Zeit eher eine geringe Häufigkeit von Hochwasserereignissen. Spitzenreiter in Sachen Hochwasser waren die Kleine Eiszeit (1550–1850) sowie verschiedene Perioden, zum Beispiel vor 1200, 2500 oder 9500 Jahren, tendenziell alles eher kühle und nasse Zeiten. «Es wäre jedoch falsch, nun zu schliessen, mit der Klimaerwärmung sei keine Zunahme von Hochwassern zu erwarten», sagt Geologe Lukas Glur. Vielmehr gelte es jetzt, zum Beispiel mit Pollenanalysen, näher zu untersuchen, welches die Hintergründe sind. So könnte etwa die damals höher gelegene Baumgrenze die Erosion gebremst und zu weniger Turbiditen im Sediment geführt haben.

In einem anderen Punkt ziehen Glur und Wirth jetzt schon ein klares Fazit: Die vermuteten Muster zwischen Alpennord- und Alpensüdseite, zum Beispiel gegenläufige Trends, konnten nicht bestätigt werden. «Es gibt zwar regionale Unterschiede, aber dank der grossen Zahl untersuchter Seen konnten wir aufzeigen, dass Häufigkeit und Intensität grosser Hochwasser im Süden und Norden generell gut übereinstimmen», sagt Glur.

## Korallen dokumentieren Meeresströmung

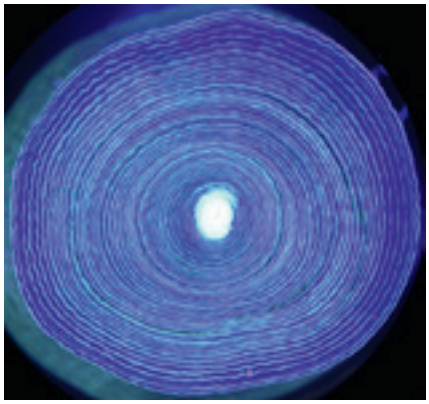
Nicht mithilfe von Sedimentkernen, sondern mit Tiefseekorallen ist der Biogeochemiker Carsten Schubert der globalen Erwärmung auf der Spur. In enger Zusammenarbeit mit der Universität Basel dokumentiert er, wie der

Einfluss des kalten Labradorstroms im Nordatlantik seit den 1970er-Jahren laufend abnimmt. Die Nordatlantische Oszillation (NAO) ist der periodische Wechsel der Luftdruckunterschiede zwischen den Azoren und Island. Dieses Wettersystem bestimmt nicht nur, ob die Winter in Europa kalt und trocken oder nass und warm sind, sondern beeinflusst auch die Meeresströmung im Nordatlantik. Auf dem Kontinentalsockel vor Neuschottland scheint die NAO die Wechselwirkung verschiedener Wassermassen zu steuern. Während positiver Phasen der NAO bestimmt eine mit 10 Grad Celsius relativ warme, aus dem Golfstromsystem entspringende, salz- und nährstoffreiche Wassermasse die Ozeanografie des nordostamerikanischen Kontinentalrandes. Befindet sich die NAO in einer negativen Phase, ist die Labradorströmung prägend, eine mit 6 Grad Celsius eher kalte und nährstoffärmere Wassermasse, welche subpolaren Gebieten entspringt.

## Plötzlich auf warm umgeschaltet

Nun haben die Wissenschafter nachgewiesen, dass in den frühen 1970er-Jahren im westlichen Nordatlantik ein einschneidender Wechsel zu einem «Warmwasser-Modus» stattgefunden hat. Die Forschenden machten sich zunutze, dass Wassermassen wegen ihrer unterschiedlichen Herkunft unterschiedliche Stickstoffisotopensignaturen (unterschiedliche Verhältnisse der stabilen Stickstoffisotope $^{15}N$ und $^{14}N$) aufweisen. Diese Isotopensignale sinken mit Partikeln aus dem Oberflächenwasser ab und werden von Tiefseekorallen in mehreren hundert Metern Tiefe eingebaut. Die Korallen ermöglichen so eine Rekonstruktion der Meeresströmungsverhältnisse der letzten Jahrzehnte. Zudem erleichtern ihre gut sichtbaren Jahrringe eine genaue Datierung.

Die Isotopenanalyse von viel älteren, fossilen Tiefseekorallen aus derselben Gegend bestätigte, dass sich die Stickstoffisotopensignaturen in früherer Zeit so gut wie nicht verändert haben. Die Änderung der Meeresströmung seit den 1970er-Jahren scheint also zumindest innerhalb der letzten 1800 Jahre einzigartig zu sein. Eine direkte Verbindung zwischen den Veränderungen im Nordatlantik und der hauptsächlich durch den Menschen verursachten globalen Klimaerwärmung muss angenommen werden.



*Die Jahrringe einer Tiefseekoralle im UV-Licht.*

*Die Sediment-Bohrplattform auf dem Vansee in Ostanatolien.*

## Antworten und Geheimnisse im Vansee

Zwei schwere Erdbeben mit Hunderten von Opfern in der ostanatolischen Region Van im Oktober und November 2011 haben einem Eawag-Projekt zu trauriger Aktualität verholfen: Im Sommer 2010 hat ein internationales Team aus dem Vansee insgesamt über 800 Meter Sedimentkerne erbohrt. Neben einer Rekonstruktion der Umwelt- und Klimageschichte des Nahen Ostens erwarten die Forscherinnen und Forscher aus der Analyse der Kerne auch Antworten auf die Frage nach der Häufigkeit und Intensität von Erdbeben. Deformationen im Sediment und Ablagerungen von seismisch verursachten Trübeströmen erlauben es, eine beispiellose Zeitreihe solcher Ereignisse zu erstellen. Noch laufen die Arbeiten in den Labors – namentlich an der Eawag und an der Universität Bonn. Doch bereits ist klar: Eine derart weit zurückreichende Erdbebengeschichte gab es bisher noch nie. Vorläufige Datierungen an vulkanischen Aschen haben für die tiefsten erbohrten Schichten Alter bis zu 500 000 Jahren ergeben. Während Sedimentkerne aus Schweizer Seen maximal bis zur letzten Eiszeit (also rund 12 000 Jahre) zurückreichen, birgt der Vansee die Ablagerungen aus drei oder vier interglazialen Zeiträumen. Pollen von Eichen sind der Beweis für wärmere Zeiten, während der Kaltzeiten wurden Pollen von Steppenpflanzen in die Sedimente eingelagert. Reste von Süsswassermuscheln in den tiefsten Sedimentschichten stützen die Hoffnung, dass die Bohrungen tatsächlich fast bis zur Entstehung des Sees zurückreichen. Damals muss er noch einen Abfluss gehabt haben. Wann und wie genau dieser «verstopft» wurde, ist eines der noch ungelösten Geheimnisse des Vansees. Heute ist der See jedenfalls abflusslos, salzig (21 Promille) und mit einem pH-Wert von 9,8 so basisch wie Seifenlauge. ○○○

Kontakte:
Hochwasserhistorie: Lukas Glur, lukas.glur@eawag.ch
Korallen: Dr. Carsten Schubert, carsten.schubert@eawag.ch
Vanseeprojekt: Prof. Rolf Kipfer, rolf.kipfer@eawag.ch; www.eawag.ch/vansee

# Der verkabelte Fluss

**An der Thur untersuchten Forschende, wie Revitalisierungen sich auf die hydrologischen Prozesse eines Flusses auswirken. Mit Grundwassersensoren, welche die elektrische Leitfähigkeit messen, konnten sie feststellen, wie lange das Flusswasser im Untergrund unterwegs ist.**

Record – der Name des Projekts ist Programm: An der revitalisierten Thur bei Niederneunforn (TG) und Altikon (ZH) wird alles von Wissenschafterinnen oder Wissenschaftern Erdenkliche aufgezeichnet und gemessen. Kameras dokumentieren Vegetation und Flussmorphologie, Wetterstationen die meteorologischen Bedingungen, Datenlogger erfassen Wasserstände, Temperaturen und elektrische Leitfähigkeiten, Bodensensoren hydrologische, geophysikalische und biogeochemische Parameter. «Wir wollen verstehen, welche Prozesse im Fluss, Flusskorridor und Grundwasser ablaufen», sagt Projektleiter Mario Schirmer von der Forschungsabteilung Wasserressourcen und Trinkwasser. Während vier Jahren nahmen Forschende der Eawag, der ETH Zürich und Lausanne sowie der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft der Thur den Puls.

## Raschere Infiltration

Obwohl in der Schweiz schon etliche Gewässerabschnitte revitalisiert wurden, weiss man wenig über die Auswirkungen. Erhöht sich die Artenvielfalt? Verbessert sich die Wasserqualität? Wie verändert sich der Austausch zwischen Fluss und Grundwasser? Wie gut werden Schadstoffe abgebaut? «Erst das Verständnis der mechanistischen Zusammenhänge ermöglicht Erfolgskontrollen, verlässliche Vorhersagen und die Verbesserung künftiger Projekte», so Schirmer. Um die Unterschiede zwischen einem revitalisierten und einem nicht revitalisierten Flussabschnitt zu untersuchen, richteten die Forschenden an einem kanalisierten Thur-Abschnitt bei Felben-Wellhausen (TG) ein zweites Testgelände ein.

Die Eawag befasste sich im Projekt Record (das Akronym steht übrigens für Restored corridor dynamics) vor allem mit dem unterirdischen Wassertransport zwischen Flusssohle und Grundwasser sowie mit dem Verhalten von Nähr- und Schadstoffen in diesem System. Die Forschenden eruierten anhand der Leitfähigkeit des Wassers, die sie mit Grundwassersensoren in zahlreichen Beobachtungsbrunnen massen, wie rasch sich das Flusswasser im Untergrund fortbewegt. Die Messungen ergaben, dass dieses im revitalisierten Teil etwa in einem Drittel der Zeit in den Grundwasserleiter gelangt wie im kanalisierten Bereich. Die Fachleute führen dies auf die unterschiedliche Flussbettmorphologie und Uferstruktur zurück.

Damit könnten Revitalisierungen in der Nähe von Grundwasserfassungen problematisch sein. Denn Flusswasser enthält geklärtes, bei überlasteter Kanalisation auch ungeklärtes Abwasser, das mit Fäkalbakterien und anderen Krankheitserregern kontaminiert ist. Eine ausreichende Verweildauer des Wassers im Boden stellt sicher, dass Mikroorganismen die Keime abbauen und das Trinkwasser hygienisch einwandfrei ist. «Im Fall des revitalisierten Flussabschnitts braucht das Wasser durchschnittlich elf Tage, bis es in einem nahegelegenen Trinkwasserpumpwerk ankommt», sagt Schirmer. Das Schweizer Gesetz schreibt eine Aufenthaltszeit von mindestens zehn Tagen vor und verbietet Renaturierungen in Trinkwasserschutzzonen. Die Forschenden empfehlen deshalb, in der Nähe von Pumpwerken von Aufwertungen abzusehen oder die Grundwasserfassung allenfalls zu versetzen.

## Langzeitbeobachtung nötig

Dass eine raschere Infiltration die Grund- und Trinkwasserqualität beeinträchtigen kann, zeigen auch Messungen der Mikroverunreinigungen. So enthält das Grundwasser im aufgewerteten Thur-Abschnitt in Ufernähe höhere Mengen an Pestiziden und Medikamentenrückständen, weil diese wegen der geringeren Verweildauer weniger stark abgebaut werden als im kanalisierten Bereich. Positiv wirkten sich die Revitalisierungsmassnahmen dagegen auf die Nitratbelastung aus. Möglicherweise führe die grössere Heterogenität des Bodens dazu, dass die biogeochemischen Prozesse besser abliefen und Nitrat effizienter zersetzt werde, so Schirmer.

«Record zeigt, wie komplex die Interaktionen in einem Flusssystem sind und dass Erfolge nicht schon innert kurzer Zeit sichtbar werden», resümiert der Hydrogeologe. «Gewisse Entwicklungen brauchen vielmehr Jahre oder Jahrzehnte.» Er plädiert dafür, an revitalisierten Flüssen vermehrt langfristiges Monitoring zu betreiben. So wie an der Thur: Der Forschungsstandort bleibt erhalten und ein Nachfolgeprojekt zu Record ist aufgegleist. ○○○

*Wie wirkt sich eine Revitalisierung auf das System Fluss aus? Das umfangreiche Instrumentarium an der Thur soll es ans Licht bringen.*

www.eawag.ch/jb11/record

Kontakt:
Prof. Mario Schirmer,
mario.schirmer@eawag.ch

# Ökologie und Wasserbau Hand in Hand

**Die Vielfalt verschiedener Lebensräume und deren Vernetzung sind Schlüsselkriterien für intakte und artenreiche Fliessgewässer. Dies sollte bei Revitalisierungen im Zentrum stehen. Dabei müssen sich Ökologie und Hochwasserschutz nicht im Weg stehen.**

Naturnahe und dynamische Gewässer und Hochwasserschutz schliessen sich nicht aus. Diese Überzeugung steht hinter dem Projekt «Integrales Flussgebietsmanagement», das die Eawag zusammen mit der ETH Lausanne, der ETH Zürich und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft und mit der Unterstützung des Bundesamts für Umwelt erarbeitet hat. Ökologen erforschten dabei, was es für naturnahe und artenreiche Bäche und Flüsse braucht. Wasserbauer untersuchten, wie sich diese ökologischen Bedürfnisse beim Bau der Hochwasserschutzinfrastruktur oder bei Flussrevitalisierungen berücksichtigen lassen.

## Vielfältige Habitate

«Die Vielfalt an Lebensräumen, deren Grösse und ihr Vernetzungsgrad beeinflussen massgeblich, wie intakt ein Fliessgewässer ist», fasst Armin Peter, Leiter der von der Eawag durchgeführten Teilprojekte, die Ergebnisse zusammen. Es reicht allerdings nicht, bei einer Revitalisierung bloss eine heterogene, naturnahe Flussmorphologie wiederherzustellen, wie die Untersuchungen der Forschenden zeigen. An der aargauischen Bünz und der bern-freiburgischen Sense analysierten sie, wie sich die Morphologie naturnaher und verbauter Flussabschnitte auf die Artenvielfalt aquatischer Kleinlebewesen auswirkt. Sie stellten fest, dass es diesbezüglich wenig Unterschiede gab. «Neben morphologischer Diversität spielen auch andere Faktoren eine wichtige Rolle, damit die charakteristischen Arten in einem Fluss vorkommen», erklärt Peter. Entscheidend sei zum Beispiel eine ausreichende Dynamik des Abflusses oder der Temperaturen. So verhindern im Fall der Bünz wahrscheinlich künstliche Abflussschwankungen neben der mangelhaften Wasserqualität ein intakteres Ökosystem.

*In der Bünz simulierten die Forschenden mit Backsteinen Eiablagen für Insekten und andere Wirbellose.*

Laut den Forschenden gilt es zudem zu berücksichtigen, dass viele Arten im Verlauf ihrer Entwicklung unterschiedliche Lebensräume benötigen. So verbringen Amphibien oder aquatische Insekten einen Teil ihres Lebens im Wasser, einen anderen an Land. Stimmt die Qualität eines Habitats für eine bestimmte Lebensphase nicht, kann sich eine Art nicht ansiedeln. So fanden die Ökologen heraus, dass sich Eintags- und Köcherfliegen in vielen Abschnitten der Bünz nur schlecht fortpflanzen können. Denn unter anderem aufgrund des Abflussregimes ragen zu wenige Steine aus dem Wasser, auf welche die Fliegen ihre Eier legen könnten.

## Vernetzte Populationen

Auch die genetische Diversität von Populationen ist für ein funktionierendes Ökosystem entscheidend. Sie ist die Grundvoraussetzung, dass sich eine Art an sich verändernde Umweltbedingungen anpassen und langfristig überleben kann. Populationen mit genügend Individuen und eine gute Vernetzung mit anderen Populationen ermöglichen die nötige genetische Vielfalt. Wie unterschiedlich eng das Populationsnetz gewoben sein muss, um den genetischen Austausch zu gewährleisten, hängt wiederum von der Art ab – insbesondere von ihrer Mobilität.

So konnten Peter und seine Forscherkollegen an der Sense nachweisen, dass die Eintagsfliege *(Baetis rhodani)* im gesamten Untersuchungsgebiet eine vergleichbare genetische Diversität aufweist. Sie kann sich leicht auch über Hindernisse hinweg durch die Luft ausbreiten. Dagegen wird der Bachflohkrebs *(Gammarus fossarum)* vorwiegend von der Strömung flussabwärts verdriftet. Dementsprechend sind die *Gammarus*-Populationen im Mündungsgebiet genetisch wesentlich vielfältiger als flussaufwärts.

Kanalisierte Einmündungen von Seitengewässern stellen in Bezug auf die Vernetzung oft unüberwindbare Barrieren dar. Mithilfe von Modellversuchen konnten die Wasserbauingenieure des Projekts zeigen, dass sich mit Aufweitungen der Seitengewässer im Mündungsbereich die Gewässermorphologie und die Habitatvielfalt markant verbessern liesse – ohne dass dabei die Hochwassersicherheit beeinträchtigt würde. ○○○

### Richtig entscheiden

Sollen die verschiedenen Interessen und Bedürfnisse – vom Naturschutz bis zum Hochwasserschutz – berücksichtigt werden, können Revitalisierungsvorhaben rasch zu komplexen Projekten ausufern. Integrative Planungswerkzeuge können in solchen Situationen zu einer transparenten Entscheidungsfindung beitragen. Forschende der Abteilung Systemanalyse und Modellierung der Eawag haben dazu eine auf der Entscheidungstheorie basierende Methode entwickelt. Mit dieser lassen sich der Zustand eines Flussabschnitts darstellen, Defizite aufdecken, ein möglicher Handlungsbedarf ableiten und die Konsequenzen verschiedener Massnahmen aufzeigen. Das Verfahren soll schwierige Abwägungen zwischen sich zum Teil widersprechenden Interessen transparent machen und dadurch Entscheidungsprozesse erleichtern und Entscheidungen tragfähiger machen.

Kontakt: Prof. Peter Reichert, peter.reichert@eawag.ch

www.rivermanagement.ch

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

# Aus trüber Brühe wird Trinkwasser

**In Entwicklungsländern müssen viele Menschen ohne sauberes Wasser leben. Ein einfacher, wartungsarmer Wasserfilter, der auch völlig trübes Wasser reinigt und entkeimt, könnte das ändern. Erste Feldversuche in Kenia zeigen, dass das Verfahren auch im Alltag funktioniert. Nun soll das System für die breite Anwendung weiterentwickelt werden.**

Hunderte von Millionen Menschen haben weltweit keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Betroffen sind vor allem die ärmeren Schichten in den Entwicklungsländern. Ihnen fehlt es häufig nicht nur an sauberem Trinkwasser, sondern auch an einer Möglichkeit, das vorhandene Wasser auf einfache und zuverlässige Weise zu reinigen. Erschwerend kommt dazu, dass diesen Menschen meist auch elementare hygienische Kenntnisse fehlen, sodass immer wieder sauberes Wasser mit Krankheitskeimen verunreinigt wird. Gefragt ist also ein simples, günstiges und effizientes Verfahren, mit dem jede Familie zu Hause ihr Wasser reinigen und vor allem auch entkeimen kann. Genau ein solches System haben Forschende der Abteilungen Verfahrenstechnik sowie Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec) in den letzten Jahren erarbeitet. Sie haben einen Wasserfilter für Haushalte entwickelt, bei dem das Wasser mithilfe dünner Membranen gereinigt wird. Das Verfahren wird gegenwärtig in Feldversuchen in Kenia getestet.

*Skeptisch: Die Forscherinnen mussten die Bevölkerung von Esokota (Kenia) zuerst von der Tauglichkeit des Wasserfilters überzeugen.*

## Jahrelang stabiles Niveau

Bei den eingesetzten Membranfiltern handelt es sich um durchlässige Kunststofffolien, deren Poren nur gerade 20 Millionstel Millimeter gross sind. Damit können kleinste Partikel wie Trübstoffe, aber auch Krankheitskeime, Parasiten und sogar Viren wirkungsvoll aus dem Wasser gesiebt werden. Das Wasser wird also nicht nur mechanisch gereinigt, sondern gleichzeitig auch noch entkeimt. Aufgrund ihrer hohen Reinigungswirkung werden Membranfilter heute in der Industrie bereits vielfältig eingesetzt. Allerdings haben diese Filter einen grossen Nachteil: Sie müssen immer wieder gereinigt werden, da sich auf den Folien innert kürzester Zeit eine Schleimschicht bildet, welche die Durchlässigkeit reduziert.

Genau aus diesem Grund schienen solche Filter bisher kaum geeignet, um sie in ärmeren Regionen für die Trinkwasserreinigung zu verwenden – zu gross wären der Aufwand und die Kosten, um die verstopften Membranen regelmässig zu reinigen. Maryna Peter-Varbanets, Postdoktorandin an der Abteilung Sandec, hat nun aber während ihrer Doktorarbeit eine vielversprechende Feststellung gemacht: Die Durchlässigkeit der Membranfilter nimmt zwar nach jeder Reinigung relativ schnell ab. Doch nach zwei bis vier Tagen pendelt sich der Wasserdurchfluss auf einem tiefen, aber konstanten Niveau ein, und zwar über Jahre hinweg, wie die Umweltingenieurin in einem Langzeitversuch zeigen konnte. Bei näherem Hinsehen entdeckte sie auch, warum die Filter nicht verstopfen. Aufgrund des niedrigeren Drucks wird die Schleimschicht nicht zusammengepresst und die Bakterien ordnen sich auf dem Filter so an, dass dünne Kanäle entstehen, durch die das Wasser fliessen kann.

Genau diese Selbstregulation machte sich das Eawag-Team nun zunutze. «Unsere Resultate zeigen, dass die Durchlässigkeit längerfristig auf einem Niveau von vier bis zehn Litern pro Stunde und Quadratmeter bleibt», erklärt Peter-Varbanets. «Das wäre für eine industrielle Anwendung viel zu gering. Doch um eine Familie in einem Entwicklungsland mit sauberem Trinkwasser zu versorgen, reichen diese Werte und eine Membranfläche von einem halben Quadratmeter aus.»

Basierend auf den Laborversuchen mit verschiedenen Wasserqualitäten haben die Forschenden einen Prototyp entwickelt. Kernstück des Reinigungssystems ist eine Serie vertikal angeordneter Membranen, die in der Mitte durch ein Rohr miteinander verbunden sind. Der

Membranstapel steht in einem verschraubten Plastikbehälter, in den von oben das dreckige Wasser eingefüllt wird. Durch die Schwerkraft wird das Wasser durch die Membranen gepresst und fliesst über das Verbindungsrohr in ein darunterliegendes Auffangbecken. Von dort aus kann es über einen Plastikhahn entnommen werden. Der grosse Vorteil dieser Konstruktion: Das System braucht keine Pumpe, um das Wasser durch die Membran zu pressen, und demzufolge auch keine zusätzliche Energie.

## Zufriedenheit nach anfänglicher Skepsis

In einem nächsten Schritt geht es nun darum, das Verfahren auf seine Praxistauglichkeit hin zu überprüfen. Dazu führt das Eawag-Team derzeit in Kenia Feldversuche durch. «Wir wählten vier verschiedene Standorte aus, an denen das Trinkwasser ganz unterschiedliche Qualität aufweist», erklärt Selina Derksen, die als wissenschaftliche Mitarbeiterin an den Feldversuchen beteiligt ist. «Eine erste Gruppe von Versuchspersonen ist an die öffentliche Wasserversorgung in Nairobi angeschlossen. Zwei weitere Gruppen nutzen sehr trübes Wasser aus einem Fluss beziehungsweise aus einem stark verunreinigten Teich. Die vierte Gruppe bezieht ihr Wasser aus einem Bohrloch.»

Nach knapp einem Jahr zieht Peter-Varbanets eine erfreuliche Bilanz: «Die Leute sind zufrieden mit dem System, die Anlagen werden regelmässig gebraucht. Und bis auf eine Ausnahme sind alle der 24 installierten Anlagen noch in Betrieb und funktionieren einwandfrei.» Am Anfang der Feldstudie seien die Menschen vor Ort skeptisch gewesen. «Sie glaubten nicht, dass wir das Wasser ohne chemischen Zusatz reinigen können. Als sie dann aber sahen, dass aus dem Behälter sauberes, klares Wasser fliesst, waren sie begeistert.»

Bis zum Abschluss der Testphase werden die Experimente intensiv begleitet. Einmal pro Monat besucht ein kenianischer Partner die Versuchspersonen und klärt ab, ob die Filter noch richtig funktionieren. Bei dieser Gelegenheit entnimmt er auch Wasserproben zur Kontrolle. «Wir haben in einer Wohnung in Nairobi ein kleines Labor eingerichtet, in dem wir allfällige Krankheitskeime im Wasser nachweisen können», erklärt Derksen. Finden sich in einer Probe Keime, bedeutet das nicht unbedingt, dass die Membran nicht mehr ordnungsgemäss funktioniert. «Es kann auch sein, dass der Behälter mit dem sauberen Wasser verunreinigt wurde, weil etwa beim Abfüllen verunreinigtes Wasser über die Anlage schwappte», so Derksen.

*In einem improvisierten Labor untersucht Selina Derksen aufbereitetes Wasser auf Krankheitskeime.*

## Zur Serienreife weiterentwickeln

Die mikrobiologischen Untersuchungen bestätigen, dass das neue Reinigungssystem einen grossen Fortschritt bedeutet. «In den meisten Fällen, in denen Wasser mit Krankheitserregern eingefüllt wurde, finden sich nach der Reinigung keine Keime mehr», erklärt Peter-Varbanets.

Aufgrund der positiven Resultate wollen die Forschenden das System nun weiterentwickeln, sodass es auch in grösserem Umfang eingesetzt werden kann. Zusammen mit Industriedesignern der Zürcher Hochschule der Künste hat das Team drei Entwürfe für ein Serienprodukt entwickelt. «Dabei haben wir zum einen technische Überlegungen berücksichtigt, etwa dass die Membranfolien vor Zugriffen von aussen geschützt sind», erklärt die Forscherin. «Zum anderen versuchten wir die Wasserfilter so zu gestalten, dass sie von der lokalen Bevölkerung auch akzeptiert werden.» Aus diesem Grund reisten die Designer im Oktober 2011 nach Kenia und untersuchten, welche Aspekte den Anwenderinnen und Anwendern besonders wichtig sind.

Und die Wissenschafter denken schon weiter: «Wenn die neuen Wasserreiniger im grossen Stil eingesetzt werden sollen, müssen wir auch ökonomische und logistische Fragen klären», sagt Peter-Varbanets. Eine Befragung der Versuchspersonen zeigte, dass diese bereit wären, für einen solchen Wasserreiniger 18 bis 30 US-Dollar zu bezahlen. Nun überlegen sich die Forschenden, wie sich die Produktion finanzieren lässt, damit die Filter zu diesem Preis angeboten werden können. «Wir machen uns auch Gedanken, über welche Absatzkanäle man sie später einmal vertreiben könnte», ergänzt Peter-Varbanets. Denn eine persönliche Betreuung wie in den Feldexperimenten sei im grossen Massstab ja nicht mehr möglich. ○○○

## Einfacher Planungsleitfaden

Ein zentrales Anliegen der Eawag ist es, Know-how, Technologien und Werkzeuge auch für Fachleute in der Praxis oder für Behörden verfügbar zu machen. So entwickelten Eawag-Forschende zum Beispiel einen praktischen Leitfaden, der die Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten im Bereich Siedlungshygiene in Entwicklungsländern erleichtern soll. Diese Community-Led Urban Environmental Sanitation Planning Guidelines sind bewusst in einfacher Sprache gehalten, damit auch Laien sie verwenden können. In sieben Planungsschritten leiten sie an, wie man ein solches Projekt initiiert, die relevanten Probleme erkennt und priorisiert, die Bedürfnisse der involvierten Akteure integriert, geeignete Lösungen entwickelt, einen Aktionsplan kreiert und diesen schliesslich auch umsetzt. Ein zentraler Aspekt für eine erfolgreiche Umsetzung ist demnach, alle Betroffenen von Anfang an einzubinden und so nachhaltigere Lösungen zu schaffen.

www.sandec.ch/clues

www.eawag.ch/membranefilter

Kontakt:
Dr. Maryna Peter-Varbanets, maryna.peter@eawag.ch

# Das WC der Zukunft kommt aus China

**Viele Grossstädte Chinas entwickeln sich rasant und leiden unter Wassermangel. Das verlangt bei der Abwasserentsorgung nach neuen Konzepten. Dabei setzt das Land westliches Know-how in die Praxis um und könnte so wiederum zum Vorbild für Europa werden.**

Keine Toilette und keine Schwemmkanalisation mehr, die mit grossen Mengen Wasser Fäkalien und Urin wegschaffen müssen; kein kilometerlanges Kanalnetz, welches das Abwasser von Tausenden von Haushalten in eine Grosskläranlage leitet – stattdessen in jedem Quartier oder sogar in jedem Gebäude ein eigenes System, um Schmutzwasser aufzubereiten und zu rezyklieren: So könnte die Abwasserbehandlung der Zukunft aussehen.

## Wenig Potenzial im Westen

Neben dem geringen Wasserverbrauch zeichnet solche dezentralen Lösungen gegenüber der zentralen Abwasseraufbereitung aus, dass man mit ihnen wesentlich flexibler auf die Entwicklung urbaner Räume reagieren kann. Sie lassen sich nach Bedarf rasch lokal installieren und müssen nicht in ein bestehendes Abwassernetz integriert werden. Hohe Kosten für Bau und Unterhalt einer Kanalisation fallen weg. Kleinkläranlagen könnten wie Waschmaschinen zu einem erschwinglichen Massenprodukt werden.

«Gerade in Regionen Afrikas, Nordwestchinas, Indiens oder Indonesiens, wo Wasserknappheit und ein schnelles Wachstum der Städte zusammenkommen und überdies noch wenig entsprechende Infrastruktur besteht, bieten sich dezentrale Konzepte an», sagt Christian Binz von der Abteilung Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung. Der Wirtschaftsgeograf untersucht zusammen mit der Chinese Academy of Sciences in Peking, wie sich der Abwassersektor in China entwickelt und wie sich dort innovative Verfahren zur dezentralen Aufbereitung etablieren.

Damit neue Technologien überhaupt angewendet werden können, muss zuerst das Know-how verfügbar sein. Die Wissenschafter erhoben anhand einschlägiger Literatur, Expertenbefragungen und Marktanalysen, wer im Gebiet der dezentralen Abwasseraufbereitung weltweit die treibenden Akteure sind, wie diese vernetzt sind und welche Rolle China spielt. «Das technologische Wissen ist heute vorwiegend in den Industrieländern konzentriert», erläutert Binz. Die stark ausgebaute Infrastruktur, bei der zentrale Lösungen mit Kanalisationsnetzen und Grosskläranlagen dominierten, schränke das Potenzial für dezentrale Systeme dort allerdings erheblich ein. Es bestehe lediglich ein Nischenmarkt in peripheren Siedlungsgebieten.

Hingegen sind neue Technologien in China, wo sich die Abwasseraufbereitung noch im Aufbau befindet und das mit drängenden Umweltproblemen zu kämpfen hat, laut Binz einfacher umsetzbar. «Das nötige Wissen holt sich das Land einerseits aus dem Westen, besitzt andererseits in bestimmten Bereichen bereits selber umfassendes Know-how und hat etwa bei Membranbioreaktoren zur Weltspitze aufgeschlossen.» Der Wissenschafter ist überzeugt, dass die Innovationen in Zukunft vermehrt aus dem Reich der Mitte kommen werden.

## Es braucht mehr als Technik

Technologisches Wissen allein reicht aber laut Binz nicht aus. Ebenso wichtig seien die Rahmenbedingungen. Daran mangle es noch, wie das Beispiel Peking zeige. «In der Millionenstadt gehören zwar dezentrale Systeme in etlichen Hotels und Wohnblocks zur Ausstattung», sagt er. «Schon über 2000 Kleinanlagen sind installiert.» Es seien zudem meist chinesische Firmen, welche die Anlagen bauten und betrieben. Während europäische Grosskonzerne vielfach weiterhin das im Westen vorherrschende Konzept propagierten, baue sich hier ein eigener Industriezweig auf. «Trotzdem fehlen meist entsprechende Businessmodelle, Servicekonzepte und die Unterstützung der Behörden, sodass die Entwicklung sehr chaotisch verläuft», sagt er. Das Umdenken bei Wissenschaft und Politik sei noch ausstehend.

*China besitzt im Bereich der Abwasseraufbereitung bereits umfassendes Know-how und die entsprechende Industrie befindet sich im Aufbau.*

Laut Binz nimmt Peking bei der dezentralen Abwasserbehandlung eine Vorreiterrolle ein, weil die Wasserknappheit und das rasante Wachstum innovative Lösungen nötig machen. Ausserdem habe sich die Stadt für die olympischen Sommerspiele 2008 als fortschrittlich präsentieren wollen. «Im Rest des Landes setzt man bislang jedoch stark auf herkömmliche Technologie», sagt er.

Sollten sich die Akteure aber dereinst besser koordinieren, traut der Wissenschafter China zu, dass es beim Aufbau seiner Abwasserinfrastruktur den Schritt über die zentrale Versorgung zumindest teilweise überspringt und direkt auf dezentrale Technologien setzt – und damit vielleicht dereinst zum Vorbild für den Westen wird. ○○○

www.eawag.ch/jb11/tsum

Kontakt:
Christian Binz,
christian.binz@eawag.ch

# Viele Bakterien im Trinkwasser

**Wer Leitungswasser vom Hahn trinkt, nimmt auch Mikroorganismen mit auf. Sie sind ein natürlicher Bestandteil des Trinkwassers und spielen bei dessen Aufbereitung eine zentrale Rolle. Darüber, wie dies geschieht, weiss man allerdings erstaunlich wenig.**

Hahn auf und heraus fliesst bestes Trinkwasser. So selbstverständlich das lebenswichtige Gut jederzeit zur Verfügung steht, so unbekannt ist es – nicht nur für Konsumentinnen und Konsumenten, sondern auch für Fachleute. Insbesondere bezüglich der Rolle der Mikroorganismen tappt die Wissenschaft noch weitgehend im Dunkeln. «Wir wissen mehr über Bakterien im Abwasser als im Trinkwasser», sagt Frederik Hammes von der Forschungsabteilung Umweltmikrobiologie (Umik). Das vom Schweizer Gesetz vorgeschriebene Verfahren, um die mikrobiologische Qualität von Trinkwasser zu beurteilen, beruht auf der mehr als 100-jährigen Plattierungsmethode. Mit dieser lassen sich lediglich Bakterien nachweisen, die auf Nährmedien kultiviert werden können: circa ein Prozent der tatsächlich vorhandenen Mikroorganismen.

## Abbau von Nährstoffen

Dank moderner Analyseverfahren wie der von der Eawag entwickelten Durchflusszytometrie weiss man immerhin, dass wesentlich mehr Bakterien im Trinkwasser vorkommen, als man lange annahm. «Das Trinkwasser der Stadt Zürich enthält zum Beispiel pro Milliliter rund 100 000 Bakterienzellen», sagt Karin Lautenschlager, die bei Umik eine Dissertation zum Thema verfasst hat. Und das sei kein hygienischer Notfall, sondern ein normaler Wert für die Schweiz.

Die Bakterien sind ein natürlicher Bestandteil des Trinkwassers und in der Regel harmlos. Vielmehr helfen sie, dieses zu reinigen und biologisch stabil zu halten, wie Lautenschlagers Untersuchungen in der Trinkwasseraufbereitungsanlage Lengg der Wasserversorgung Zürich zeigen. Aus Seewasser wird dort trinkbares Wasser hergestellt. Die Reinigung geschieht in mehreren Schritten. Zuerst wird das Rohwasser zur Desinfizierung mit Ozongas behandelt und danach durch Aktivkohle- und Sandfilter geleitet. Wie üblich in der Schweiz findet keine anschliessende Chlorierung statt.

«Die Filter sind mit Biofilmen aus Mikroorganismen überzogen», erklärt Lautenschlager. Diese Bakterien spielen laut der Forscherin bei der Wasserreinigung die zentrale Rolle. Die Mikroorganismen bauen organischen Kohlenstoff ab und limitieren so die Nährstoffe im Wasser. Das verhindert die unkontrollierte Vermehrung von Bakterien während der Trinkwasserverteilung und führt zu einem stabilen Gleichgewicht. «Die hohe Bakterienvielfalt verhindert wahrscheinlich auch, dass Krankheitserreger gedeihen können», so Lautenschlager. Woher die Bakterien stammen, ist allerdings noch weitgehend unklar.

Aus den Filtern gelangen die Bakterien mit dem aufbereiteten Wasser auch ins Trinkwasserverteilnetz. Wasserproben von mehreren unterschiedlich weit von der Aufbereitungsanlage entfernten Messstellen bestätigen, dass die mikrobiologischen Verhältnisse dort ebenso stabil sind: Egal ob das Wasser 2 oder 50 Stunden im Leitungssystem unterwegs war, wiesen sie ähnlich viele Bakterien auf. Zudem war die Artenzusammensetzung an den Standorten zu über 80 Prozent identisch und sogar über mehrere Jahre konstant.

## Anstieg über Nacht

Um herauszufinden, wie es um die Wasserqualität steht, die letzten Endes aus dem Hahn fliesst, analysierte die Mikrobiologin auch das Leitungswasser von zwölf Haushalten nach einer nächtlichen Gebrauchspause. Die Menge der Bakterien sei über Nacht in allen Haushalten um das Zwei- bis Dreifache angewachsen, sagt sie. Überdies habe sich die Zusammensetzung um 50 bis 100 Prozent verändert. In sechs Fällen überstiegen die gemessenen Konzentrationen sogar die gesetzlichen Richtwerte. Über die Ursachen kann Lautenschlager bislang nur spekulieren: «Andere Leitungsmaterialien, höhere Temperaturen oder die lange Stagnationsdauer könnten die Vermehrung der Bakterien begünstigen.»

Obwohl die Befunde kein Gesundheitsrisiko darstellen dürften, zeigten sie doch die Notwendigkeit zuverlässiger Prüfmethoden und eines besseren Verständnisses der mikrobiologischen Vorgänge im Trinkwassersystem, sagt die Expertin. Indessen reiche bereits ein kurzes Laufenlassen des Wasserhahns, um die mikrobielle Belastung deutlich zu reduzieren. Nach fünfminütigem Spülen – das entspricht etwa 30 Litern – hat das Leitungswasser wieder dieselbe Qualität wie im Verteilnetz. ○○○

*In der Trinkwasseraufbereitungsanlage Lengg in Zürich wird Seewasser zur Reinigung durch riesige Sandfilterbecken geleitet.*

www.eawag.ch/jb11/trinkwasser

Kontakt:
Dr. Frederik Hammes, frederik.hammes@eawag.ch

# Dünger aus der Kläranlage

**Abwasser ist nicht nur Abfall, sondern enthält auch wertvolle Nährstoffe. Ein ausgeklügeltes Verfahren ermöglicht es, Stickstoff aus dem Abwasser zu entfernen und zu einem Dünger zu verarbeiten. Das spart Energie und Rohstoffe und erhöht die Wirtschaftlichkeit. Eine Pilotanlage in Glattbrugg ZH zeigt, dass dies auch in grosstechnischem Massstab funktioniert.**

In Zukunft könnten Bäuerinnen und Bauern ihren Dünger wieder von der Abwasserreinigungsanlage beziehen – nicht als Klärschlamm, dessen Ausbringung auf die Felder ist in der Schweiz seit 2006 verboten. Denn er enthält neben Stickstoff und Phosphor auch potenzielle Schadstoffe, problematische Medikamentenrückstände und Krankheitserreger. Vielmehr sollen die Kläranlagen dereinst, so die Vision von Hansruedi Siegrist und Marc Böhler der Forschungsabteilung Verfahrenstechnik, mithilfe eines raffinierten Verfahrens einen gebrauchsfertigen Dünger herstellen.

## Erste grosstechnische Anlage der Schweiz

Wie das funktionieren könnte, untersuchen die beiden Wissenschafter zusammen mit der Abwasserreinigung Kloten/Opfikon (AKO) in einem vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich unterstützten Projekt. In der AKO in Glattbrugg installierte das Team eine Pilotanlage, um mit der Technik der Strippung wertvollen Stickstoff aus dem Abwasser zurückzugewinnen und zu einem Dünger für die Landwirtschaft zu verarbeiten. Bei der Strippung werden flüchtige Bestandteile (in diesem Fall Stickstoff) mithilfe von Luft aus einer Flüssigkeit ausgetrieben. In der Pilotanlage wird die Technologie in der Schweiz erstmals in grossem Massstab umgesetzt und erprobt.

Heute entfernen die Kläranlagen den Stickstoff mit aufwändigen Verfahren aus dem Abwasser, damit dieser nicht in die Flüsse und Seen gelangt und dort die Überdüngung begünstigt (siehe Kasten). Dabei verpufft der Nährstoff jedoch ungenutzt. «Mit der Aufbereitung zu einem Düngemittel können wir ihn hingegen für die Landwirtschaft wieder verfügbar machen und so den Nährstoffkreislauf – vom Dünger über die Nahrungsmittel und die Ausscheidungen im Abwasser zurück zum Dünger – schliessen», sagt Böhler. Zudem benötigt die Düngerherstellung auf diesem Weg weniger Energie als die herkömmliche Haber-Bosch-Synthese. Die Strippung hilft ebenso, Energie in der Kläranlage zu sparen, und entlastet dort die konventionelle Stickstoffeliminierung. Der Verkauf des anfallenden Flüssigdüngers ist nicht zuletzt auch wirtschaftlich interessant.

*Eawag-Wissenschafter Hansruedi Siegrist und Marc Böhler diskutieren mit Christoph Liebi und Pascal Stutz von der Kläranlage Kloten/Opfikon (von rechts nach links). In den drei Reaktoren in ihrem Rücken findet die Strippung statt.*

## Temperatur und pH-Wert entscheidend

Die Strippungsanlage in Glattbrugg besteht aus drei aneinandergekoppelten Reaktoren, durch die Faulwasser geleitet wird. Dieses fällt bei der Eindickung und Entwässerung des Klärschlamms an und birgt rund 20 Prozent des in der Kläranlage anfallenden Stickstoffs in Form von Ammonium. Die rund zehn Meter hohen Reaktorkolonnen enthalten Füllelemente mit wabenförmiger Feinstruktur, durch die das Faulwasser die Säulen herunterrieselt. Die eigentliche Stickstoffstrippung findet im zweiten Reaktor statt. In diesem wird in entgegengesetzter Richtung zum Fluss des Faulwassers Luft eingeblasen. Zuerst wird das Ammonium in leicht flüchtiges Ammoniak umgewandelt. Damit kann dieses aus dem Faulwasser in die eingeblasene Luft ausgasen und so abgeschieden werden.

«Der Prozess braucht einen hohen pH-Wert und eine genügend hohe Temperatur», erklärt Böhler. Basische Bedingungen sind nötig, damit sich das Ammonium im Faulwasser in gelöstes Ammoniakgas umwandelt, die Erwärmung erhöht dessen Flüchtigkeit. Die Forschenden erwärmen das Faulwasser daher mit Abwärme aus dem Klärbetrieb auf 60 bis 65 Grad Celsius und geben Natronlauge zu, bis die pH-Messsonde im Reaktor den Wert 9,5 anzeigt. «Unter diesen Bedingungen lassen sich rund 90 Prozent des Stickstoffs abtrennen», sagt Böhler.

## Zusätzliche Strippung spart Lauge

Um die Effizienz der Anlage weiter zu verbessern, sind die Wissenschafter aber noch einen Schritt weitergegangen und haben vor der Abtrennung des Stickstoffs eine Kohlendioxidstrippung eingebaut. Nach demselben Prinzip wie bei der Stickstoffstrippung wird dabei im ersten Reaktor mit der Zufuhr von Frischluft $CO_2$ aus dem Faulwasser abgeschieden. «Dadurch erhöht sich der pH-Wert bereits erheblich und der Klärwärter muss nur noch etwa

die Hälfte an Natronlauge zuführen, welche die Stickstoffstrippung normalerweise benötigt», so Böhler. Das spare wiederum Ressourcen und steigere die Wirtschaftlichkeit.

Im dritten Reaktor schliesslich kommt der ammoniakhaltige Luftstrom aus der Stickstoffstrippung in Kontakt mit flüssiger Schwefelsäure. Das gasförmige Ammoniak löst sich in einer Umkehrung des Strippungsverfahrens in der Flüssigkeit und verbindet sich mit der Säure zu Ammoniumsulfat – einem handelsüblichen Flüssigdünger. Der ammoniakfreie Luftstrom wird in den zweiten Reaktor zurückgeführt, wo er sich von neuem mit Ammoniak belädt.

Die Pilotanlage produziert auf diese Weise Düngemittel mit einem Anteil an reinem Stickstoff von etwa 26 Tonnen pro Jahr. Die Abnahme durch einen Düngerhändler aus der Region ist bereits für zehn Jahre vertraglich gesichert.

## Viel versprechende Tests mit Urin

Die Wissenschafter wollten ausserdem wissen, ob sich mit dem Strippungsverfahren neben Faulwasser auch separat gesammelter Urin verarbeiten lässt. Die Eawag erforscht seit einigen Jahren umweltfreundlichere und effizientere Technologien zur Behandlung menschlicher Ausscheidungen. Dabei stellt die separate Sammlung des Urins ein viel versprechendes Konzept dar, um Gewässer und Kläranlagen zu entlasten, den Wasserverbrauch zu vermindern sowie Nährstoffe zurückzugewinnen.

Erste Versuche zeigen, dass man mit der Pilotanlage auch separat gesammelten Urin problemlos mitbehandeln kann. Bei einem Anteil von 10 Prozent Urin im Faulwasser erhöhte sich die Stickstoffkonzentration um 40 Prozent.

*Zur Vergrösserung der Oberfläche sind die Reaktoren mit Füllelementen aus Kunststoff bestückt, die eine wabenförmige Struktur aufweisen.*

## Weniger Stickstoff ist besser fürs Klima

Auch bei der Abwasserreinigung entstehen Treibhausgase, die zur Klimaerwärmung beitragen. Von besonderer Bedeutung ist Lachgas ($N_2O$), das rund 300-mal stärker wirkt als $CO_2$ und zudem die Ozonschicht in der Stratosphäre schädigt. Daher untersucht Eawag-Wissenschafter Pascal Wunderlin zusammen mit der Empa, wie sich der $N_2O$-Ausstoss von Kläranlagen verringern lässt. $N_2O$ entsteht hauptsächlich in der biologischen Reinigungsstufe. Diese eliminiert Stickstoff aus dem Abwasser. Gewisse Mikroorganismen oxidieren dabei den als Ammonium vorliegenden Stickstoff zuerst zu Nitrat (Nitrifikation), bevor andere Mikroorganismen dieses zu Stickstoffgas reduzieren (Denitrifikation), das in die Atmosphäre entweicht.

«Die Analyse der Stickstoffisotope im Lachgas zeigt, dass die meisten $N_2O$-Emissionen aus der Nitrifikation stammen», sagt Wunderlin. Vor allem wenn die Betriebsbedingungen nicht optimal seien, habe das einen erhöhten Ausstoss zur Folge. Ungünstig wirkt sich zum Beispiel eine hohe Stickstoffbelastung des Abwassers aus. «Dann laufen die mikrobiologischen Prozesse am Anschlag», so Wunderlin. Das Strippungsverfahren zur Herstellung von Dünger könnte auch dazu beitragen, die Bildung von Lachgas zu verringern, indem solche Belastungsspitzen vermieden würden.

www.eawag.ch/jb11/lachgas

«Mit mehr Stickstoff kann das Verfahren bezüglich Energie und Kosten günstiger betrieben werden, da die Düngerausbeute bei unwesentlich höherem Betriebsaufwand deutlich steigt», sagt Böhler.

## Phosphordünger erweitert die Palette

Neben der Rückgewinnung von Stickstoff aus Urin ist vor allem jene von Phosphor interessant. Denn dieser Nährstoff wird in Zukunft zunehmend knapp und die Urinseparation daher wichtiger werden. Bereits heute sammeln zum Beispiel die SBB oder einzelne Restaurants den Urin teilweise separat mit Urinalen, die ohne Wasserspülung auskommen. Zu den Pionieren gehört auch die Eawag, die in ihren Gebäuden so genannte No-Mix-Toiletten einsetzt.

Gibt man dem abgetrennten Urin Magnesium zu, fällt der Phosphor als Magnesiumammoniumphosphat aus und kann leicht aus der Flüssigkeit filtriert werden. Mit dem Magnesiumammoniumphosphat, das auch unter der Bezeichnung Struvit bekannt ist, erhält man einen für die Landwirtschaft essenziellen Phosphordünger – also ebenfalls ein vermarktungsfähiges Produkt.

Die Idee von der Abwasserreinigungsanlage als Produzentin von Düngemitteln findet Anerkennung in der Öffentlichkeit. So wurden die Eawag-Forschenden zusammen mit der Abwasserreinigung Kloten/Opfikon 2011 im Rahmen der Verleihung des Klimapreises der Zurich-Versicherung mit einem Sonderpreis ausgezeichnet. Im Januar 2012 erhielt das Team überdies bei der Verleihung des Umweltpreises Schweiz der Stiftung Pro Aqua – Pro Vita einen Anerkennungspreis. ○○○

www.eawag.ch/jb11/strippung
www.eawag.ch/jb11/ako

Kontakt:
Marc Böhler, marc.boehler@eawag.ch
Prof. Hansruedi Siegrist, hansruedi.siegrist@eawag.ch

# Aufs Ganze gehen

**Neue Methoden ermöglichen es Umwelttoxikologinnen und -toxikologen, die Gesamtheit der Gene oder Proteine eines Lebewesens auf einmal zu untersuchen. Damit lassen sich negative Auswirkungen von Chemikalien oder anderen Stressfaktoren detaillierter erfassen und verstehen.**

«Will man verstehen, warum eine Chemikalie auf Fische, Wasserflöhe oder Algen toxisch wirkt, muss man die molekularen und biochemischen Prozesse in den Zellen dieser Lebewesen in ihrer Gesamtheit verstehen», sagt Kristin Schirmer, Leiterin der Abteilung Umwelttoxikologie. Erst damit liessen sich ökotoxikologische Gefahren bewerten und zuverlässige Strategien zur Risikominimierung entwickeln.

## Gene reagieren auf Stress

Die Systembiologie ist die Forschungsdisziplin, die diesen neuen Ansatz vertritt. Dank der technologischen Entwicklungen in der Erbgutentschlüsselung und der Bioinformatik lässt sich heute in einem Mal untersuchen, wie Stressfaktoren die Aktivität der gesamten Gene, Synthese und Abbau all der Proteine oder Stoffwechselprodukte eines Lebewesens verändern. Die Transkriptomik analysiert dabei alle RNA-Moleküle, die bei der Proteinsynthese anhand des genetischen Bauplans (DNA) in einer Zelle hergestellt werden (Transkriptom). Die Proteomik erfasst die Gesamtheit der Proteine (Proteom) und die Metabolomik jene der Stoffwechselprodukte (Metabolom). Automatisierte Analyseverfahren ermöglichen die Verarbeitung der grossen Datenmengen – schon die einzellige Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* besitzt rund 17 000 Gene, der Zebrabärbling *(Danio rerio)* 29 000.

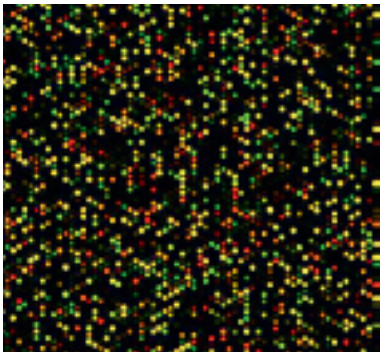
Schirmer und ihr Team wenden systembiologische Methoden an, um zu erforschen, wie chemische Stoffe, Nanopartikel oder ungünstige Umweltbedingungen in das komplexe zelluläre Räderwerk von Wasserorganismen eingreifen und sich auf diese auswirken. Beat Fischer etwa untersucht, wie *Chlamydomonas*-Algen reagieren, wenn sie Chemikalien ausgesetzt sind, welche die Lichtsensibilität der Algen erhöht. Dabei entstehen reaktive Sauerstoffverbindungen, welche die Zellen schädigen können. Transkriptomik-Analysen an rund 2700 Genen offenbarten, dass sich die Aktivität mehrerer Gene unter Stress deutlich erhöht. «Darunter befinden sich Gene, die an der Abwehr von oxidativem Stress und an der Entgiftung beteiligt sind», erläutert Fischer. «Die Algen steigern auf diese Weise ihre Toleranz gegenüber reaktivem Sauerstoff und können sich bis zu einem gewissen Grad vor einer Schädigung bewahren.»

Weiter fand der Forscher heraus, dass die meisten Gene, die für die Fotosynthese zuständig sind, weniger aktiv sind. Das deute darauf hin, dass die Algen zum Schutz ihre Fotosyntheseaktivität reduzierten und nur noch eingeschränkt Lichtenergie gewinnen könnten, so Fischer.

## Problematische Nanopartikel

Ksenia Groh untersucht toxische Auswirkungen von Silbernanopartikeln auf Embryonen des Zebrabärblings. Sie will herausfinden, ob direkt die Nanopartikel oder eher frei werdende Silberionen negative Effekte verursachen. Durch die Analyse von 3000 Proteinen mithilfe der Proteomik konnte sie zeigen, dass in erster Linie die Ionen zelluläre Proteinmuster verändern. Gewisse Veränderungen im Proteom seien aber alleine auf den Einfluss der Nanopartikel zurückzuführen, erklärt die Forscherin.

Dass auch *Chlamydomonas*-Algen mit Veränderungen ihres Transkriptoms und Proteoms reagieren, wenn sie Silber ausgesetzt sind, zeigen Untersuchungen von Smitha Pillai. Ganz nach dem Ansatz der Systembiologie, Organismen in ihrer Gesamtheit zu verstehen, will die Wissenschafterin in einem nächsten Schritt erforschen, wie sich die veränderten Genaktivitäten und Proteinmuster auf die morphologischen und physiologischen Eigenschaften der Algen auswirken.



*DNA-Mikroarrays enthalten Erbgutproben Tausender von Genen. Mithilfe solcher Genchips lässt sich analysieren, wie Chemikalien die gesamte Genaktivität eines Lebewesens verändern. Je nach Färbung sind die Gene unterschiedlich aktiv.*

Kontakt:
Prof. Kristin Schirmer,
kristin.schirmer@eawag.ch

## Nanosilber in Kläranlagen

Ob in Kosmetika, Deodorants, Zahnpasten, Farben oder Lacken – künstlich hergestellte Nanopartikel kommen in immer mehr Alltagsprodukten vor und gelangen auch in die Umwelt. Verschiedene Studien unter anderem der Eawag weisen darauf hin, dass die winzigen, zwischen 1 und 100 Millionstel Millimeter kleinen Teilchen negative Auswirkungen auf Wasserlebewesen haben können. Die meisten gelangen über das Abwasser auch in die Kläranlagen. Was dort mit ihnen passiert, untersuchte Ralf Kägi von der Forschungsabteilung Verfahrenstechnik im Fall von Silbernanopartikeln.

Mithilfe von Experimenten in der Versuchskläranlage der Eawag und Modellrechnungen fand der Wissenschafter heraus, dass durch die Abwasserbehandlung über 95 Prozent der Nanoteilchen aus dem Wasser eliminiert werden und im Klärschlamm landen. Ausserdem wandle sich in der Kläranlage innert kurzer Zeit ein Grossteil des Nanosilbers in unproblematisches Silbersulfid um, so Kägi. Über das gereinigte Abwasser gelangen demzufolge nur geringe Mengen Silbernanopartikel in die Umwelt.

Kontakt:
Dr. Ralf Kägi, ralf.kaegi@eawag.ch

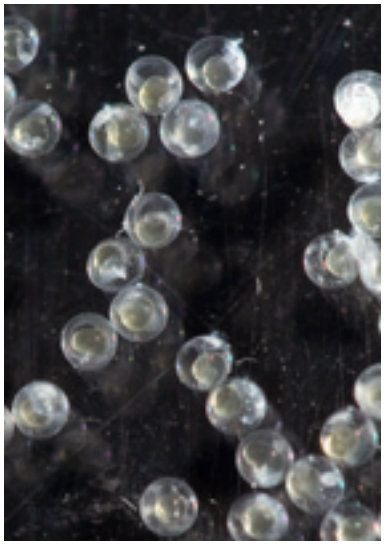
# Es geht auch ohne Tierversuche

**Tierversuche mit Fischen sind in der chemischen Industrie an der Tagesordnung. Umwelttoxikologinnen der Eawag entwickeln alternative Tests, die vergleichbare Resultate liefern und erst noch weniger Platz benötigen. Alle Substanzen lassen sich damit aber noch nicht beurteilen.**

Für die Gesundheit unserer Umwelt werden jedes Jahr weltweit Hunderttausende von Fischen in Tierversuchen eingesetzt. Dafür verantwortlich ist unter anderem der so genannte Akute Fischtest. Akut heisst er darum, weil er die unmittelbare Giftigkeit von Chemikalien anzeigt. Zu diesem Zweck kommen die Fische in Aquarien, die mit jeweils einer chemischen Verbindung versetzt sind. Die Anzahl toter Fische nach vier Tagen sagt Behörden, Chemieherstellern und Forschenden, wie giftig ein neu entwickeltes Pestizid oder ein neuer Farbstoff für Holzprodukte ist. Der Zweck ist begrüssenswert, doch das Mittel ethisch bedenklich. Deshalb forscht die Eawag an zwei alternativen Testverfahren.

## Statt Fische Zellen …

Beim ersten Verfahren verwenden die Forschenden anstatt ganzer Fische lediglich Kiemenzellen, die aus einer Regenbogenforelle isoliert wurden. «Diese Zellen können wir unendlich züchten», sagt Katrin Tanneberger von der Abteilung Umwelttoxikologie. Kiemenzellen als Fischersatz zu verwenden, ist sinnvoll, weil der Hauptkontakt zwischen Fisch und Umwelt ebenfalls über die Kiemen läuft. Dieses Organ wird ständig von Wasser umspült und reagiert als erstes, wenn es in einem Gewässer Schadstoffe gibt. Neben der Tatsache, dass keine weiteren Fische getötet werden müssen, liegt ein weiterer Vorteil der Kiemenzellen laut Tanneberger darin, dass die Testdauer gegenüber dem Akuten Fischtest verringert ist und weniger Abfall produziert wird.



*Befruchtete Eier des Zebrabärblings stellen eine Alternative zu Toxizitätstests an ausgewachsenen Fischen dar.*

Ausserdem spart man Platz. Die Kiemenzellen werden den Chemikalien in winzigen Behältern ausgesetzt, sodass sich ein Test auf der Fläche einer Postkarte durchführen lässt. Die Auswertung erfolgt über fluoreszierende Farbstoffe, die umso stärker leuchten, je mehr Zellen aktiv sind. Wenn also eine Chemikalie alle Zellen abtötet, bleibt es im Behälter dunkel.

## … oder Fischeier

Bei der zweiten Alternative zum Akuten Fischtest verwenden die Forschenden die befruchteten Eier des Zebrabärblings. «Diese entwickeln sich innerhalb von wenigen Tagen zu einer Fischlarve», sagt Melanie Knöbel, die ebenfalls in der Abteilung Umwelttoxikologie arbeitet. Da die Eihülle durchsichtig ist, lässt sich zum Beispiel der Herzschlag der Embryonen deutlich erkennen. Je giftiger eine Chemikalie, desto weniger Embryonen mit Herzschlag verbleiben nach zwei Tagen.

Fischembryonen unterliegen in der EU keinen Tierschutzregularien, weil das Nervensystem noch unterentwickelt ist, und Untersuchungen an ihnen gelten deshalb nicht als Tierversuche.

Allerdings kann der Toxizitätstest mit Fischembryonen nicht überall eingesetzt werden. «Neurotoxische Gifte lassen sich teilweise schlecht nachweisen, weil das Gehirn der Fischembryonen noch nicht vollständig ausgebildet ist», erklärt Knöbel. Diese Einschränkung besteht übrigens auch beim Test mit den Kiemenzellen, denn diese können ebenfalls nicht wie Nervenzellen reagieren.

## Zelllinien kombinieren

Ein weiteres Problem stellen Substanzen dar, die ihre Giftigkeit erst dann entfalten, nachdem die Leber sie aufgenommen und in andere Stoffe umgewandelt hat. Hier können Kiemenzellen und Fischeier ebenfalls scheitern, da in ihnen solche Umwandlungsprozesse nur eingeschränkt ablaufen. «Bei über 30 getesteten Chemikalien war das allerdings nur einmal der Fall», sagt Tanneberger.

Eine mögliche Lösung wäre auch, den Metabolismus der Fische zu simulieren, indem man die Chemikalien vorher mit Enzymen aus der Leber umwandle und erst dann mit den Zelllinien oder den Embryonen in Kontakt bringe, sagt Kristin Schirmer, Leiterin der Abteilung Umwelttoxikologie. Eine andere Möglichkeit, solche Stoffe zu testen, sei die Entwicklung einer aktiven Leberzelllinie. Für die Untersuchung neurotoxischer Effekte seien vergleichbare Zellmodelle denkbar. «An solchen Testverfahren forschen wir», sagt Schirmer. «Mein Traum ist es, verschiedene Zelllinien so zu kombinieren, dass wir damit die relevanten Prozesse nachbilden können, die im Fischorganismus ablaufen, und immer weniger Versuchstiere einsetzen müssen.» ○○○

www.eawag.ch/jb11/tierversuche

Kontakt:
Prof. Kristin Schirmer, kristin.schirmer@eawag.ch

# Das grosse Inventar der Seefische

**Die Statistiken der Fischerei zeigen zwar, welche Fischarten gefangen oder ausgesetzt wurden, die tatsächliche Vielfalt der Fische in den Alpen- und Alpenrandseen ist jedoch unbekannt. Jetzt hat sich ein Team unter Leitung der Eawag daran gemacht, ein aktuelles, wissenschaftlich fundiertes Inventar der Fischbestände zu erstellen.**

1

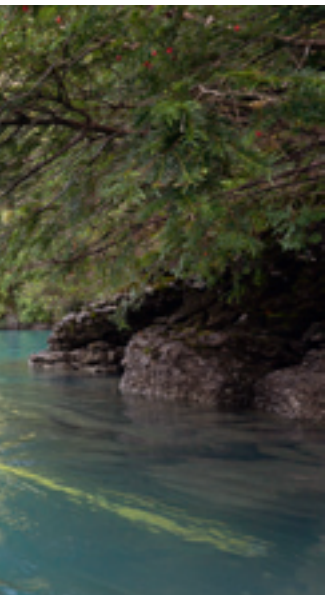
## Den Seen auf den Grund gehen

Gemäss dem Schweizer Fischereigesetz muss die Verbreitung der Fischarten bekannt sein. Auch die Wasserrahmenrichtlinie der EU kennt eine ähnliche Vorgabe. Statistiken müssen zeigen, welche Arten besonders bedroht sind und Schutz benötigen. Doch tatsächlich ist über die Arten in den grösseren Seen Europas erstaunlich wenig bekannt. Meist sind Fischereistatistiken die einzigen verfügbaren Daten. Man weiss, welche Arten und wie viele Fische gefangen werden und wie viele ausgesetzt werden, die wirkliche Vielfalt ist jedoch unbekannt. Seit 2010, dem internationalen Jahr der Biodiversität, läuft daher das Project Lac. Mit dem Vorhaben will die Eawag Licht in die dunklen Seetiefen bringen. Systematisch werden die Seen befischt, die gefundenen Arten bestimmt, und fotografiert sowie die Fangzahlen statistisch ausgewertet. Zudem wird am Naturhistorischen Museum Bern eine Referenzsammlung aufgebaut mit präparierten Fischen. Sie ermöglicht kommenden Forschergenerationen, Veränderungen zu dokumentieren.

Die bisherigen Resultate hinterlassen beim Projektleiter Ole Seehausen von der Eawag und dem Institut für Ökologie und Evolution der Universität Bern gemischte Gefühle. Zum einen haben die Abfischungen deutlich gemacht, dass viele Fischarten in den letzten 150 Jahren verschwunden sind. Im Murtensee zum Beispiel betrifft das rund 30 Prozent der Arten. Zum anderen haben die Netze aber auch Fische ans Licht gebracht, von denen man nicht wusste, dass sie im jeweiligen See überhaupt vorkommen. Im Fall des Murtensees etwa eine adriatische Rotfedernart *(Scardinius hesperidicus)* oder den Giebel *(Carassius gibelio)*. Im Brienzersee wurden Felchen gefunden, die in sehr grosser Tiefe zu laichen scheinen. Die genetischen Analysen werden jetzt zeigen, ob es sich um eine bisher unbekannte Art handelt. Seehausen verspricht sich viel von den neuen Daten. Unter anderem will sein Team herausfinden, welche Ursachen hinter dem Auftauchen oder Verschwinden von Arten stehen. Letztlich unterstützt dies einen effizienten Mitteleinsatz im Arten- und Lebensraumschutz, also zum Beispiel bei Uferrevitalisierungen an Seen oder Massnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität.

2

3



**1** Das Fischen mit speziellen Vertikalnetzen mit definierten Maschenweiten gibt den Forschenden Angaben über den Fischbestand auch in grossen Seetiefen. Wie hier im Brienzersee, wo auch in 250 Metern Tiefe noch Felchen ins Netz gingen.

**2** Dank Echolot, GPS und genauer Karten können die Probenahmestellen auf dem See mehrmals genau angesteuert werden.

**3** Hier fischt normalerweise kaum ein Fischer: Ole Seehausen bei der Elektrobefischung eines felsigen Steilufers unter den Bäumen.

**4** Am Vorabend gesetzt, holt Grégory Tourreau – Spezialist für Taucharbeiten – eines der Netze in Ufernähe ein. Den Egli scheint dieser Lebensraum zuzusagen.

**5** Keiner zu klein, um inventarisiert zu werden. Fischbiologe Guy Périat sortiert Jungfische aus einem Flachwasser-Lebensraum.

**6** Zurück an Land werden die Fische sorgfältig aus den Netzen gelöst, sortiert …

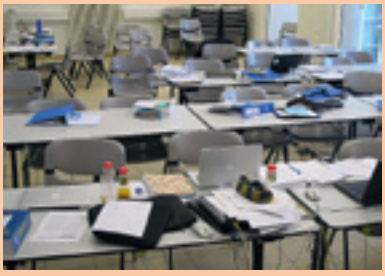
**7** … gewogen …

**8** … vermessen und fotografiert.

Forschen

# Lehren

Beraten



Rund 30 Prozent des wissenschaftlichen Personals der Eawag lehren an der ETH Lausanne und an der ETH Zürich. Eawag-Forschende waren 2011 zudem an kantonalen Universitäten und an Fachhochschulen in der Lehre und Ausbildung tätig, dies hauptsächlich in Bern, Zürich und Neuenburg. Sie bringen die Sicht der angewandten Forschung in die universitäre Lehre ein und ergänzen die Lehrinhalte mit praktischen Beispielen.

Zahlreiche junge Wissenschafterinnen und Wissenschafter werden auch direkt an den Standorten der Eawag in Kastanienbaum und Dübendorf ausgebildet. Der Aufwand für die Betreuung der Doktorierenden und der Bachelor- und Masterstudierenden steigt dabei von Jahr zu Jahr. Insgesamt ist die Zahl der betreuten Bachelor- und Masterarbeiten seit 2008 um 50 Prozent gestiegen. Dies bringt die Eawag räumlich und bezüglich Infrastruktur an ihre Grenzen, erhöht aber auch den Anteil von Wasserfachleuten für den Schweizer Arbeitsmarkt. Für die hohe Qualität der Ausbildung sprechen die verschiedenen Auszeichnungen der jungen Absolventinnen und Absolventen.

Die berufsbegleitende Weiterbildung besteht in den praxisorientierten Eawag-Kursen (Peak). Dabei arbeitet die Eawag eng mit dem Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) zusammen. Seit 2011 verstärkt ein Begleitkomitee aus der Eawag-Forschung die Organisation des Peak-Programms. 2011 fokussierte dieses auf Gewässerschutz und Gewässerrevitalisierung.

## Petra Kunz

### Wissen in die Praxis bringen

«Zu erklären, wie ein biologischer Test zur Beurteilung der Gewässerqualität funktioniert, ist nicht so einfach», sagt die Ökotoxikologin Petra Kunz. Diese Erfahrung macht sie in den Kursen, die sie am Oekotoxzentrum für Fachleute von Behörden, Industrie oder Auftragslabors durchführt. «Die meisten Kursteilnehmer wissen, dass in der Chemie die Konzentration eines Stoffs im Wasser eindeutig bestimmt werden kann», erklärt Kunz. «Doch wir arbeiten mit lebenden Organismen wie Krebsen oder Fischen, da sind die Ergebnisse nicht eins zu eins übertragbar, sondern müssen interpretiert werden.»

Kunz entwickelt die «lebenden Testsysteme» weiter, arbeitet bei deren Zertifizierung mit und stellt sie Interessierten zur Verfügung. «Ich möchte mit meiner Tätigkeit dazu beitragen, die Qualität der Gewässer zu verbessern», beschreibt sie ihre Motivation. Zurzeit beschäftigt sie sich unter anderem mit dem Thema Mischungstoxizität. Kunz: «Wir wissen relativ viel über einzelne Stoffe, der Einfluss von Chemikaliengemischen auf die Gewässer ist dagegen viel schwieriger zu bestimmen.» Zwar seien sich die Fachleute dieser Problematik bewusst, doch die Rückmeldungen der Kursteilnehmer zeige auch, dass sich der Wissenstransfer zwischen Forschenden und Fachleuten noch verbessern müsse.

## Hong Yang

### Globalisierung der Wasserressourcen

«Die suchen genau mich», dachte sich Hong Yang, als sie 1999 im Economist ein Stelleninserat der Eawag entdeckte. Ursprünglich aus Peking, hatte die Geografin in Australien in Philosophie doktoriert und war als Assistenzprofessorin an der University of Hong Kong tätig. Ihr Fachgebiet: die Zusammenhänge zwischen Wasser, Umwelt und Ernährung. Yang erhielt die Stelle und zog in die Schweiz. Inzwischen ist sie seit zwölf Jahren an der Eawag tätig und hat dazu beigetragen, das neue Forschungsgebiet zu etablieren.

In Computermodellen untersucht die Forscherin unter anderem, welchen Einfluss der Klimawandel auf die Wasserverfügbarkeit und die Nahrungssicherheit hat.

«Doch genauso wichtig wie die Forschung ist es, unser Wissen an die Entscheidungsträger weiterzugeben», sagt Yang. Dazu arbeitet sie in China, in Entwicklungsländern und in Europa mit lokalen Forschungspartnern zusammen – oder gibt selber Kurse vor Ort. Seit über fünf Jahren unterrichtet sie zudem an der Universität Basel. «Ich will bei den Studierenden das Bewusstsein für die Globalisierung der Wasserressourcen wecken.» Wasser, das zur Pflanzenaufzucht eingesetzt werde, gelange über den Export der Lebensmittel in andere Regionen oder Kontinente. «Und am Herkunftsort fehlt es», so Yang.

## Samuel Derrer

### Bewusstsein für die Berufslehre fördern

In Experimenten analysiert ein Chemielaborant eine Fragestellung, zieht Schlüsse daraus. «Und trotzdem bleibt der Ausgang eines Experiments oft unberechenbar», erklärt Samuel Derrer seinen naturwissenschaftlichen Spürsinn. Seit anderthalb Jahren leitet er die Berufsbildung an der Eawag und ist verantwortlich für die derzeit 16 Chemielaboranten, je drei Biologielaboranten und KV-Lernende sowie zwei Informatiker.

Nach seiner Laborantenausbildung studierte Derrer Chemie am damaligen Technikum Winterthur und doktorierte später an der Universität Cambridge. Es folgten zwölf Jahre als Forscher in der Schweizer Parfumindustrie. «Dann wurde es Zeit für eine Veränderung», so Derrer. Als Mitglied der kantonalen Prüfungskommission erfuhr er von der Pensionierung seines Vorgängers an der Eawag – und nutzte die Chance. «So ungewöhnlich war der Schritt nicht, denn der Kontakt zu Lernenden, Diplomierenden oder Doktorierenden hat mich während meiner ganzen Karriere begleitet.» Derrer brachte bewusst von Anfang an seinen eigenen Stil ein und betont: «Es ist mir ein grosses Anliegen, die Wichtigkeit der Lehrlingsausbildung immer wieder in Erinnerung zu rufen.»

# Zusammenarbeit ist grossgeschrieben

**Die Eawag arbeitet in der Lehre eng mit verschiedenen Schweizer Hochschulen zusammen. Weiter ausgebaut wurde die Kollaboration mit der ETH Lausanne. Daneben engagiert sich das Wasserforschungsinstitut für die Weiterbildung der Fachleute in der Praxis und den Wissenstransfer in Entwicklungs- und Schwellenländer.**

Die Eawag hat sich 2011 wiederum stark in der Lehre engagiert. So investierten Wissenschafterinnen und Wissenschafter insgesamt rund 4900 Stunden in verschiedene Lehrveranstaltungen. Die ETH Zürich, die ETH Lausanne (EPFL) und die Universität Bern haben zusammen 9 ordentliche Professuren mit Eawag-Forschenden besetzt. An verschiedenen Schweizer Hochschulen haben 14 weitere Mitarbeitende der Eawag eine Titular- oder Assistenzprofessur inne. Hinzu gekommen sind 2011 zudem zwei Förderprofessuren des Nationalfonds (siehe Seite 48).

## Engere Kollaboration mit der ETH Lausanne

Zentral in der Lehre ist die enge Zusammenarbeit mit der ETH Zürich. Die Eawag baute überdies ihre Kollaboration mit der Universität Bern im Bereich der sozialwissenschaftlichen Themen Innovationsforschung und Policy Analysis aus. Weiter gefestigt wurden das Lehrengagement an der Universität Bern auf dem Gebiet der Fischökologie und Evolution, die Zusammenarbeit mit der Universität Neuenburg in der Hydrogeologie und mit der Universität Zürich in der Umweltpsychologie. In Partnerschaft mit der Fachhochschule Bern sowie weiteren Hochschulen und Non-Profit-Organisationen bietet die Eawag seit August 2011 den CAS-Studiengang «Integrated water resource management in the context of developing and transition countries» an. Ausserdem engagiert sich das Wasserforschungsinstitut über verschiedene Kooperationen in der Forschung und bei Infrastrukturprojekten für den Hochschulraum Schweiz.

Eine vertiefte Zusammenarbeit entwickelt sich auch mit der EPFL. Neben der Eawag-Direktorin Janet Hering ist der Trinkwasserspezialist Urs von Gunten seit 2011 ordentlicher Professor in Lausanne. Im Rahmen seiner Professur für Wasserqualität und Wasserbehandlung befasst er sich mit Trinkwasserfragen wie auch mit der Abwasserbehandlung zur Entfernung von Spurenstoffen.

Von Gunten gibt für Umweltingenieure eine Grundvorlesung in Umweltchemie sowie eine Lehrveranstaltung für Masterstudierende zum Thema Wasser und Abwasserbehandlung, wo er den Teil Trinkwasser abdeckt. Mit einem Bein steht er zudem in der Praxis: Er betreut Studierende bei der Entwicklung und Durchführung so genannter Design-Projekte. Das sind Projekte, die von der Industrie und Verwaltung vorgeschlagen werden, um umsetzbare Lösungen für konkrete Probleme in der Praxis (etwa im Bereich Abwasserreinigung) zu entwerfen. Daneben leitet von Gunten an der EPFL eine eigene Forschungsgruppe, die in engem Austausch mit seiner Gruppe an der Eawag steht. So werden alternierend gemeinsame Seminare an der Eawag und EPFL durchgeführt.

*Wie man Sedimentbohrkerne liest und welche Informationen sich aus diesen gewinnen lassen, erfuhren die Teilnehmenden der Sommerschule in Kastanienbaum.*

## Wissenschaftlichen Nachwuchs fördern

Ein weiterer wichtiger Pfeiler der Eawag-Lehre sind die Sommerschulen. Die Veranstaltungen richten sich in erster Linie an Doktorierende, aber auch an Postdoktorierende oder an qualifizierte und motivierte Masterstudierende. 2011 organisierten Wissenschafter der Eawag in Kastanienbaum unter anderem eine Summerschool zum Thema «Sedimente als Archive von Umweltveränderungen». Die 20 teilnehmenden Doktorandinnen und Doktoranden lernten, wie in Sedimenten Informationen über vergangene Umweltveränderungen, Extremereignisse wie Überschwemmungen oder Einflüsse des Menschen konserviert werden und wie diese aus Sedimentbohrkernen gelesen werden können.

Der zweiwöchige Kurs umfasste Vorlesungen, Diskussionen, praktische Arbeiten am Vierwaldstättersee, Laboranalysen und Exkursionen. Um die Sedimentationsprozesse und deren Verknüpfung mit Umweltbedingungen zu verstehen, wurden Methoden aus der Sedimentologie, Geophysik, Petrophysik, Geochemie und Mikrobiologie vermittelt. Das Förderprogramm für Doktorierende des Schweizerischen Nationalfonds unterstützte die Sommerschule finanziell.

## Wissenstransfer in die Praxis

Die Vermittlung aktuellen Wissens aus der Wasserforschung und die Förderung des Dialogs zwischen der Wissenschaft und der Praxis stehen im Fokus der Praxisorientierten Eawag-Kurse (Peak). Um den Bedürfnissen der Praxis in Zukunft noch besser gerecht zu werden, hat die Eawag ein internes Komitee eingesetzt, das sich verstärkt um die Abstimmung von Nachfrage und Angebot von Kursthemen kümmert.

2011 widmete die Eawag gleich zwei Peak-Kurse dem Thema «Naturnahe Gewässer», die entsprechend der Aktualität auf grosses Echo stiessen. Denn mit dem Inkrafttreten des neuen Gewässerschutzgesetzes und der neuen Gewässerschutzverordnung hat der integrale Schutz der Gewässer eine weitere wichtige Grundlage erhalten. Die neuen Vorschriften regeln den planerischen Schutz von Gewässerräumen, das Vorgehen bei Revitalisierungen, die Gewährleistung der Durchgängigkeit von Gewässersystemen sowie die maximal zulässigen Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk. Gleichzeitig ermöglichen sie einen verbesserten Schutz gegen Hochwasser. Die Eawag hat zusammen mit Partnern aus der Praxis und der Wissenschaft dazu wichtige Grundlagen erarbeitet und engagiert sich nun bei der Umsetzung der Vorschriften in der Praxis.

Die beschränkt zur Verfügung stehenden Mittel für Revitalisierungen sollen dort eingesetzt werden, wo der Nutzen am grössten ist. Welche Aspekte man dabei berücksichtigen muss und welche Hilfsmittel für die Planung zur Verfügung stehen, bekamen die 40 Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Kurses «Erfolgreiche Revitalisierung von Fliessgewässern» vermittelt. Die interdisziplinäre Betrachtungsweise und die interinstitutionelle Zusammenarbeit bei der Gestaltung des Kurses widerspiegelt die erforderliche Vorgehensweise bei Revitalisierungen und ist auf so grosses Interesse gestossen, dass die Veranstaltung im Mai 2012 nochmals durchgeführt wird.

*In einem Weiterbildungskurs lernten Fachleute aus der Praxis Methoden zur Bewertung von Oberflächengewässern kennen.*

Im zweiten Kurs standen Verfahren zur Bewertung von Gewässern im Mittelpunkt. Gemeinsam mit dem Bundesamt für Umwelt und kantonalen Fachstellen erarbeitet die Eawag im Projekt «Modul-Stufen-Konzept» Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz. Die Abteilung Systemanalyse und Modellierung der Eawag entwickelte Werkzeuge, die eine integrale Bewertung der verschiedenen Teilbereiche (Module) unterstützen. Die Einblicke in die Entscheidungstheorie, das im Kurs vorgestellte Vorgehen bei der Systematisierung mittels Zielhierarchien und Wertfunktionen, die unterstützende Software zur Bewertung von Fliessgewässern und von Prognosen, wie sich bestimmte Massnahmen auswirken werden, sowie der Dialog zwischen den Teilnehmenden und der Kursleitung fanden Anklang.

## Partnerschaft mit Entwicklungsländern

Die Eawag engagiert sich auch für den Wissenstransfer in Entwicklungs- und Schwellenländer sowie für die Förderung junger Wissenschafterinnen und Wissenschafter aus solchen Weltregionen. Im Rahmen des Eawag Partnership program for developing countries vergibt sie jährlich bis zu sechs Forschungsstipendien an talentierte Studierende oder Doktorierende. Ein Aufenthalt von drei bis vier Monaten an einer der Abteilungen der Eawag ermöglicht den Nachwuchsforschenden eine wissenschaftliche Weiterbildung und den Austausch mit Fachkolleginnen und -kollegen. 2011 weilten beispielsweise ein Masterstudent aus China und vier Doktorierende aus China, Vietnam und Iran an der Eawag.

www.eawag.ch/lehre/epp

www.eawag.ch/lehre

# Nicht für die Schublade

**Über 50 Studentinnen und Studenten haben 2011 ihre Ausbildung mit einer Masterarbeit an der Eawag abgeschlossen. Der Grossteil der Studierenden kommt von der ETH Zürich. Viele der Arbeiten zeichnen sich durch ihre Nähe zur Praxis aus und sind in grössere Forschungsprojekte eingebettet.**

## Listerien in den Gewässern

Listerien sind in der Umwelt weit verbreitet und können den Menschen über kontaminierte Lebensmittel infizieren. Um die Verbreitung des pathogenen *Listeria monocytogenes* und fünf weiterer Arten in Oberflächengewässern genauer zu analysieren, untersuchte Andreas Elmer an der Abteilung Umweltmikrobiologie Wasserproben aus dem Kanton Zürich – vom Teich bis zum Fluss. Elmer fand in 80 Prozent der Proben Listerien, jedoch nur in 10 Prozent der Fälle tatsächlich das Pathogen *L. monocytogenes*. Die kontaminierten Proben stammten grossenteils aus Fliessgewässern, die durch Landwirtschaftsland führen. Vermutlich gelangten die Bakterien aus landwirtschaftlichen oder Lebensmittel verarbeitenden Betrieben ins Gewässer.

*Verbreitung im Fluss, Vermehrung im See.*

Im Labor untersuchte Elmer auch das Wachstumspotenzial: In Wasser aus jenen Flüssen, wo viele Listerien gefunden worden waren, wuchs das Bakterium im Labor erstaunlich schlecht. Viel wohler fühlte es sich in Wasser aus kleinen Seen und Teichen. Elmer folgert daraus, dass Flüsse vor allem wichtig sind, um die Bakterien über weite Distanzen zu verbreiten, jedoch nicht als Reservoire dienen, wo sie sich vermehren. Dank diesem Wissen dürften sich künftig die Risiken einer Listeriose-Infektion besser beurteilen lassen. Die Masterarbeit ist Teil eines interdisziplinären Forschungsprojekts des Kompetenzzentrums Umwelt und Nachhaltigkeit des ETH-Bereichs, das die Übertragungswege und -strategien von Krankheitserregern untersucht. ○○○

## Phosphatabbau optimieren

In den beiden Kläranlagen Foce Maggia (Locarno) und Foce Ticino (Gordola) ist der Abbau von Phosphat durch Bakterien ungenügend. Um zu verhindern, dass Phosphate in die Gewässer gelangen, wird Fällmittel verwendet. Allerdings ist dessen Einsatz in grösseren Mengen teuer. Um das Problem genauer zu analysieren, bilanzierte Lorenz Schwery von der Abteilung Verfahrenstechnik zusammen mit einem privaten Ingenieurbüro die Stoffflüsse für die beiden Kläranlagen.

Es zeigte sich, dass die Fällmittel selbst einen der Hauptstörfaktoren darstellen. Indem sie Phosphate binden, stehen diese für die Bakterien nicht mehr zur Verfügung. Die Bakterien können sich daher nicht optimal vermehren, der biologische Phosphatabbau wird geschwächt. Die Krux: Je schlechter die Bakterien die Phosphate abbauen, desto mehr Fällmittel braucht es wiederum. Schwery hat für die beiden Kläranlagen verschiedene Optimierungsvorschläge ausgearbeitet. Vor allem sollten weniger Fällmittel in die von den Bakterien belebten Becken zugegeben werden. Problematisch sei auch, dass der Schlamm nach nur fünf bis sechs Tagen bereits aus dem Becken ausgetragen wird. Da die Bakterien nach dieser Zeit noch nicht richtig in die Anlage einwachsen konnten, werden sie mit dem Schlamm ausgewaschen. ○○○

## Artenverschmelzung bei den Felchen

Umweltveränderungen können dazu führen, dass sich relativ nah verwandte Arten miteinander paaren und so die Evolution quasi rückwärts verläuft. Dieser Prozess führt zu einem Verlust an Biodiversität und geschieht auch in Schweizer Seen. Im Rahmen einer Studie der Universität Bern und der Abteilung Fischökologie und Evolution der Eawag verglich Sacha di Piazza heutige Felchen mit solchen aus den Jahren 1882 bis 1995. Er konnte zeigen, dass sich im Bodensee die genetischen Unterschiede zwischen den Felchenarten um zwei Drittel verkleinert haben. Auch die Kopfformen haben sich einander angenähert.

Di Piazza führt diese Entwicklung auf die bis in die 1990er-Jahre reichende Überdüngung der Seen zurück, in deren Folge das Algenwachstum stark zunahm. Die Algen entzogen dem Wasser nahe des Seegrunds Sauerstoff, weshalb die dort lebenden Felchenarten in die oberen Bereiche des Sees ausweichen mussten. Dabei kamen sie in Kontakt mit nah verwandten Spezies und paarten sich vermehrt mit diesen über die Artgrenzen hinweg – und verschmolzen mit ihnen zu einer Hybrid-Art. Die Resultate flossen in eine Publikation im renommierten Wissenschaftsjournal Nature ein. ○○○

*Die Artenvielfalt bei den Felchen ist in überdüngten Seen zurückgegangen.*

*Fluoridfilter garantieren noch kein sauberes Trinkwasser.*

## Dreckiges Trinkwasser in Äthiopien

Viele der fast eine Milliarde Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser leben in Äthiopien. Besonders im äthiopischen Teil des ostafrikanischen Grabenbruchs hat das Trinkwasser eine bedrohlich schlechte Qualität. Das Grundwasser ist natürlicherweise mit Fluorid versetzt, was zu gesundheitlichen Problemen führen kann. Bereits 2007 führte die Eawag zusammen mit dem Hilfswerk Heks und der äthiopischen Non-Profit-Organisation OSHO Filter ein, die das Fluorid aus dem Trinkwasser entfernen. Über 300 Filter kommen heute in sieben Dörfern zum Einsatz.

Ein weiteres Problem ist die starke Verunreinigung des Trinkwassers mit Fäkalbakterien. Hygiene und sanitäre Anlagen sind dürftig, Durchfallerkrankungen weit verbreitet. Mit ihrer Masterarbeit an der Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern konnte Nina Küng zeigen, dass die Fluoridfilter zwar auch Krankheitskeime im Trinkwasser reduzieren, aber die Verschmutzung bedenklich hoch bleibt. Kontaminationen geschehen vor allem zwischen Wasserquelle und Filter während der Handhabung. Küng sieht deshalb Handlungsbedarf: Vor allem sei es wichtig, die notdürftigen sanitären Anlagen zu verbessern und die Bevölkerung über die Zusammenhänge zwischen Wasser, Hygiene und Gesundheit aufzuklären. ○○○

## Der Wasserfussabdruck von Papier

Menschen verbrauchen Wasser nicht nur zum Waschen, sondern auch indirekt über den Konsum von Produkten, beispielsweise von Papier. Die Schweiz konsumiert jährlich etwa 220 Kilogramm Papier pro Kopf. Um zu quantifizieren und zu analysieren, welche Wassermenge dadurch verbraucht wird, ermittelte Marco Felicioni (Abteilung Systemanalyse und Modellierung) den so genannten Wasserfussabdruck. Demnach benötigt der gesamte Schweizer Papierkonsum jedes Jahr zwischen 1,2 und 1,6 Milliarden Kubikmeter Wasser. Oder anders ausgedrückt: Jeder Einwohner konsumiert jährlich in Form von Papier den Inhalt eines Schwimmbeckens mit zehn Metern Seitenlänge und rund zwei Metern Tiefe.

Der grösste Teil davon ist natürliches Regenwasser, das für das Baumwachstum erforderlich war. Das meiste Papier und somit Wasser stammt aus europäischen Ländern. Felicioni konnte zeigen, dass nicht jene Länder am ehesten mit Wasserengpässen zu rechnen haben, aus denen die grössten Wassermengen kommen. Vielmehr sind es jene, in denen die Wassernutzung im Verhältnis zur Verfügbarkeit gross ist – etwa in Italien, Spanien oder den Niederlanden. Wo das Abwasser nur ungenügend behandelt wird, kann das Schmutzwasser auch ökologische Probleme verursachen. ○○○

## Biogas aus altem Schiffscontainer

60 Prozent des anfallenden kommunalen feststofflichen Abfalls bestehen in Kumasi, der zweitgrössten Stadt Ghanas, aus organischem Material – ein grosses Potenzial, um daraus mit geeigneten Anlagen Biogas zu produzieren, etwa zum Kochen oder für die Produktion von Elektrizität. Systeme zur Trockenvergärung wurden in Europa bereits erfolgreich umgesetzt. Es gibt dagegen erst wenige Untersuchungen, ob sie sich auch für Entwicklungsländer eignen.

Zusammen mit der Kwame Nkrumah University entwickelten Matthias Burri und Gregor Martius (Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern) deshalb eine Pilotanlage in Kumasi: eine simple Konstruktion auf der Basis eines ausgedienten Schiffscontainers. Diese liess sich kostengünstig realisieren, einzig die luftdichte Isolation der Öffnung stellte ein Problem dar.

Burri und Martius analysierten auch das ökonomische Potenzial. Es zeigte sich, dass der Betrieb nur dann wirtschaftlich ist, wenn die produzierte Elektrizität zu einem relativ hohen Tarif ins Netz eingespiesen werden kann. Die beiden Jungforscher halten dies bei der aktuellen politischen Lage in Ghana nicht für durchsetzbar. Zunächst brauche es ein Umfeld, das Investitionen in erneuerbare Energietechnik fördere. ○○○

*Funktionstüchtig, aber nicht rentabel: Biogasanlage in Ghana.*

# Zur richtigen Zeit am richtigen Ort

**Im Jahr 2011 schlossen insgesamt 32 Doktorierende und 52 Masterstudierende ihre Ausbildung an der Eawag ab. Welchen Tätigkeiten gehen Absolventinnen und Absolventen nach ihrer Zeit am Wasserforschungsinstitut nach? Was haben sie dort für ihr jetziges Berufsleben gelernt? Vier Ehemalige im Porträt.**

## Jane Muncke: Komplexes Wissen kommunizieren

Im Eawag-Projekt Novaquatis habe sie gelernt, dass sich Umweltverschmutzungen am effizientesten gleich an der Quelle eliminieren liessen, sagt Jane Muncke. Diese Erkenntnis leitet die Umweltnaturwissenschafterin auch in ihrer heutigen Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin bei Emhart Glass in Cham, einem Zulieferbetrieb für Glasverpackungshersteller. «Würde man etwa Kassenbons nicht mit dem hormonaktiven Stoff Bisphenol A beschichten, gelänge dieser auch nicht via Recycling in Kartonverpackungen», sagt sie. «Hier sind Glasverpackungen im Vorteil.» Im Gegensatz zu Karton oder Plastik ist Glas inert: Es lösen sich keine hormonaktiven Stoffe aus dem Material. «Das ist vor allem bei Lebensmitteln wichtig, die dadurch verunreinigt werden können», so Muncke. Die Auswirkungen hormonaktiver Stoffe auf Mensch und Umwelt beschäftigten sie bereits während ihrer Dissertation über ein Zebrafischei-Testsystem für die Gewässerqualität.

«Ausserdem habe ich an der Eawag gelernt, mein Wissen zu kommunizieren», sagt sie. Dazu gehöre, aus der Fülle an Information das Wesentliche zu erkennen – und dieses so zu vermitteln, dass es auch Kolleginnen und Kollegen aus komplett anderen Fachgebieten verstehen. «Wir mussten unsere Fortschritte regelmässig vor grossem Publikum präsentieren – und uns kritischen Fragen stellen», blickt sie zurück. Von dieser Erfahrung profitiere sie heute, sei es bei Vorträgen, beim Verfassen von Reviews in wissenschaftlichen Publikationen oder bei der Schulung von Mitarbeitenden aus dem Marketing.

Muncke sieht ihre Motivation darin, der Öffentlichkeit einen Zugang zu komplexen wissenschaftlichen Informationen zu ermöglichen. «Jeden Tag konsumieren wir verpackte Lebensmittel – es ist unser Recht zu

wissen, welche Stoffe wir dabei aus der Verpackung zu uns nehmen.» Häufig seien diese erst wenig oder noch gar nicht untersucht. Zurzeit arbeitet sie am Aufbau einer Stiftung für Wissenschaftskommunikation zu diesem Thema. Das Projekt wurde von der Glasindustrie initiiert; mittelfristig soll es jedoch eigenständig werden.

## Tobias Vogt: Herausforderungen mit gesellschaftlicher Relevanz

Im Untergrund, tief unter dem Massiv des Mont Terri bei St-Ursanne JU, befindet sich der Arbeitsort von Tobias Vogt. Im Felslabor der Nagra erforscht der Hydrogeologe den Opalinuston. In dieser Gesteinsart soll dereinst das schweizerische Tiefenlager für radioaktive Abfälle zu liegen kommen. «Opalinuston ist sehr dicht», erklärt Vogt. «Dies erschwert es radioaktiven Stoffen, durch das Gestein zu dringen.» Mit Heizelementen simuliert der Forscher, wie die Behälter mit den Brennelementen ihre Umgebung aufheizen. Dazu bauen er und sein Team derzeit einen Versuchsstollen auf, in dem sie die Bedingungen eines künftigen Lagers realitätsgetreu simulieren wollen.

«Durch die Hitze dehnt sich das Porenwasser im Gestein aus, der Druck steigt», sagt er. Modellrechnungen haben gezeigt, dass dies das System nicht aus dem Gleichgewicht bringen dürfte. «Nun geht es aber darum, die Modelle anhand realer Messdaten zu verfeinern.» Dazu nutzt der Wissenschafter Messtechniken und Sensoren, die er bereits während seiner Dissertation an der Eawag kennenlernte. Auch damals erforschte er die Durchlässigkeit von Gestein für Wasser – jedoch in einem komplett anderen Rahmen: An einem revitalisierten Bereich der Thur untersuchte er, wie das Flusswasser durch das kiesige Flussbett ins Grundwasser gelangt. «Meine Arbeit ist für mich stets wissenschaftliche Herausforderung – gleichzeitig schätze ich aber auch ihre gesellschaftliche Relevanz», sagt er.

Die Suche nach einem geeigneten Tiefenlager für hochradioaktive Ab-

fälle ist ein ambitiöses Fernziel – die Inbetriebnahme ist frühestens 2040 geplant. Bis 2020 wird man aus aktuell drei Vorschlägen in der Nordschweiz einen Standort auswählen. Dort liegt der Opalinuston in grosser Ausdehnung und einer geeigneten Tiefe von bis zu 900 Metern vor. «Im Jura eignet sich das Gestein nicht, da es aufgefaltet ist», so Vogt, «dafür haben wir hier ideale Bedingungen für den Versuchsstollen.» ○○○

## Michael Ochs: Wie lassen sich radioaktive Abfälle sicher lagern?

Die Zeit an der Eawag fiel für Michael Ochs in eine intensive Lebensphase. Nachdem er in Heidelberg Geografie und Chemie studiert und an der Oregon State University mit Schwerpunkt Bodenchemie abgeschlossen hatte, wechselte er Ende der 1980er-Jahre für seine Doktorarbeit an die Eawag. «Für mich war das eine stimulierende Umgebung – vor allem wegen der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit mit anderen Forschenden», blickt Ochs zurück. Neben neuem Wissen eignete er sich technisches Rüstzeug an und lernte, selber Projekte zu managen. «Zudem war es die Zeit, wo ich mich für einen Lebensweg entscheiden musste», sagt er.

Nach einer Tätigkeit als Assistent im Studiengang Umweltnaturwissenschaften entschied sich der Geochemiker für den Wechsel zu BMG Engineering in Schlieren, einem auf Effizienz- und Risikoengineering spezialisierten Unternehmen. Das war vor mehr als 15 Jahren – heute ist er Partner der Firma und noch immer erfüllt ihn sein Beruf. Er analysiert das Verhalten radioaktiver Stoffe – hauptsächlich im Auftrag von Kunden aus dem In- und Ausland, die mit der sicheren Lagerung radioaktiver Abfälle beauftragt sind. «Um die Sicherheit eines Tiefenlagers nachweisen zu können, brauchen sie fundierte Daten darüber, wie sich radioaktive Stoffe in dem geplanten Lager verhalten», erklärt Ochs. Es ist meist nur ein Aspekt dieser komplexen und langfristigen Projekte, den er begleiten kann. «Aber es gibt dennoch zahlreiche Fragen, die es zu beantworten gilt – und hier kann ich entscheidend mithelfen.» Neben diesen Arbeiten beschäftigt sich Ochs auch mit der Risikobewertung chemischer Stoffe und der Altlastensanierung. ○○○

## André Weidenhaupt: Macht Gewässerpolitik in Luxemburg zum Thema

1985 zieht André Weidenhaupt vom luxemburgischen Esch-sur-Alzette nach Zürich, um an der ETH Chemie zu studieren. «Wäre ich zwei Jahre jünger gewesen, hätte ich Umweltnaturwissenschaften gewählt – aber damals gab es dieses Studium noch nicht», sagt Weidenhaupt heute. Doch nach dem Diplom engagiert er sich umso mehr für die Umwelt. Er absolviert seine Dissertation an der Eawag und doktoriert 1994 als einer der Ersten in Umweltchemie. Danach

wechselt er als Oberassistent an das Chemiedepartement der ETH Zürich, wo nach dem Chemieunfall der Sandoz 1986 eine Stiftungsprofessur für Umweltschutz und Sicherheit in der Chemie errichtet wurde. «Leicht war dieser Wechsel nicht», sagt Weidenhaupt. Anders als an der Eawag hatte das Thema Umwelt für die ETH-Forschenden damals noch kaum wissenschaftliche Bedeutung. «Doch ich konnte mithelfen, dies zu ändern.»

Nach zwei Jahren kehrt er zurück nach Luxemburg, um am Forschungszentrum Centre de Recherche Public Henri Tudor eine Umweltabteilung aufzubauen. Es folgt ein Intermezzo in Brüssel, wo er die Vertragsverhandlungen über die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (Reach) während der Luxemburger Ratspräsidentschaft leitet.

Danach folgt er dem Ruf des Luxemburger Staats und wird 2005 Direktor der neu geschaffenen Wasserwirtschaftsverwaltung. Dank seinem breiten Wissen im Bereich Wasser macht er die Gewässerpolitik in Luxemburg erstmals zu einem Thema. «Einen Lebenslauf kann man nicht planen», sagt Weidenhaupt, «man muss zur richtigen Zeit am richtigen Ort sein.» Während seiner Dissertation sei die Eawag der richtige Ort gewesen, um zu lernen, in die Breite zu denken und im Austausch mit Forschenden unterschiedlicher Fachgebiete seinen Horizont zu erweitern.

Geblieben sind Freundschaften und eine Verbundenheit, die bis heute anhält. Regelmässig hält er Vorträge an der Eawag und anlässlich des 75-Jahr-Jubiläums nutzte er die Gelegenheit, sich mit Doktoranden auszutauschen. Die Umwelt ist ihm heute noch ein Anliegen, auch als Präsident der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins. «Wenn ich sehe, dass die Lachse in den Rhein zurückkehren, weiss ich, dass meine Anliegen gehört wurden», sagt Weidenhaupt. ○○○

# Forschen
# Lehren
# Beraten

Die Eawag hat den Kontakt mit der Praxis 2011 weiter ausgebaut. Diverse Beratungsprojekte im In- und Ausland konnten erfolgreich umgesetzt werden. So haben Eawag-Fachleute eine Expertise zu einem geplanten Pumpspeicherkraftwerk am Lago Bianco und Lago di Poschiavo erarbeitet. Weiter organisierte die Eawag in Ascona die internationale River Corridor Restoration Conference zu Flussrevitalisierungen, die Forschende, Ingenieurbüros und Behördenvertreter zusammenbrachte. Das Oekotoxzentrum beteiligt sich an zwei Grossprojekten des Bundesamts für Umwelt zum Thema Mikroverunreinigungen und Gewässer, die 2011 gestartet sind. Ebenso konnte 2011 das durch die EU geförderte Projekt Faecal Management Enterprises begonnen werden, welches das Recycling von Fäkalschlamm in Entwicklungsländern im Fokus hat.

Der Wissens- und Technologietransfer der Eawag zielt primär auf nationale und kantonale Fachstellen, Beratungs- und Ingenieurunternehmen sowie Wissensvermittlung in Schwellen- und Entwicklungsländern. 2011 wurde die Technologietransferstelle der Eawag mit jener der Empa zusammengefasst. Die gestiegenen und komplexeren Anforderungen bei Verträgen können so effizienter und fachlich fundierter angegangen werden.

### Hans-Peter Kohler

## Mit Mikroorganismen Böden sanieren

Das Insektizid Lindan wurde bereits in den 1970er-Jahren verboten. «Doch immer mal wieder taucht es irgendwo auf», sagt der Biochemiker Hans-Peter Kohler. Der Stoff ist schwer abbaubar und bleibt lange unverändert in der Umwelt. «In Indien wird Lindan heute noch eingesetzt», so Kohler. In einem Projekt mit indischen Wissenschaftern arbeitet er daran, Produktionsstandorte und landwirtschaftliche Flächen zu sanieren. Um Lindan abzubauen, wollen die Forschenden Mikroorganismen einsetzen. «Aber um einen Stoff aus der Umwelt zu eliminieren, müssen wir zunächst seine biochemischen Verwandlungsprozesse verstehen», erklärt er. Er arbeitet bereits seit 1988 an der Eawag und hat neben seiner Forschertätigkeit auch zahlreiche Projekte beratend begleitet. Als einer der Ersten schenkte er der so genannten Chiralität Aufmerksamkeit: Viele chemische Stoffe kommen in zwei Formen vor, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild verhalten. So etwa das Herbizid Mecoprop, das Kohler in den 1990er-Jahren auf der Sondermülldeponie Kölliken untersuchte. Nur eine Form ist tatsächlich herbizid. Kohler: «Wir fanden heraus, dass die beiden Formen unterschiedlich schnell abgebaut werden – um die Umwelt nicht unnötig zu belasten, wird Mecoprop seither nur noch in der aktiven Form verwendet.»

### Regula Meierhofer

## Bedürfnisgerechte Lösungen entwickeln

«Viele waren skeptisch, ob eine so einfache Lösung funktionieren könnte», sagt die Umweltnaturwissenschafterin Regula Meierhofer. Zwar war schon vor gut zehn Jahren bekannt, dass UV-Strahlen mikrobiologische Verunreinigungen im Wasser abtöten. Aber würde sich dank Wasser, das man in PET-Flaschen dem Sonnenlicht aussetzt, auch die Trinkwasserqualität in Entwicklungsländern verbessern lassen? Die Antwort war Ja, wie die Mitarbeitenden von Sodis (Solar Water Disinfection) in zahlreichen mikrobiologischen, epidemiologischen und materialtechnischen Studien zeigen konnten. Meierhofer, heutige Geschäftsführerin von Sodis, stiess einige Jahre später hinzu, um die Methode vor Ort bekannt zu machen. Mit Erfolg: Heute kommt das Verfahren in 23 Ländern in Lateinamerika, Asien und Afrika zum Einsatz und gilt als von der WHO anerkannte Standardmethode zur Trinkwasseraufbereitung. Meierhofer betont: «Es reicht nicht, die Menschen dazu zu bringen, das Verfahren einmal auszuprobieren – sie müssen es auch zu ihrer Gewohnheit machen.» Sodis fördert heute auch andere Methoden wie Abkochen, Chlorieren oder Filtrieren. Die etablierten Projekte werden künftig von der Entwicklungsorganisation Helvetas weitergeführt.

### Ralf Kägi

## Gefahr von Nanopartikeln abschätzen

«Heute steht immer häufiger Nano auf Produkten, ohne dass wirklich Nano drin ist», sagt Ralf Kägi, Geologe und Experte für Nanopartikel. Die winzigen Teilchen sind an und für sich nichts Neues; so entstehen etwa bei Schweissarbeiten ultrafeine gesundheitsschädliche Metallpartikel. Neu ist, dass die Industrie immer häufiger Nanopartikel einsetzt. Das Risiko für Mensch und Umwelt ist dabei vielfach noch unbekannt. Hier will Kägi Klarheit schaffen: Im Partikellabor untersucht er, wie sich verschiedene Nanopartikel in der Kläranlage verhalten. «Schlecht eliminiert werden etwa Kohlenstoffnanoröhrchen», erklärt er. Würden diese künftig in grösserer Zahl eingesetzt, könnten sie zu einer echten Gefahr werden. Anders beurteilt er die Lage bei Silber: Es ist giftig, wandelt sich im Abwasser jedoch schnell in das unproblematischere Silbersulfid um. «Wir wollen Politik, Wirtschaft, aber auch privaten Interessensgruppen die nötigen Informationen an die Hand geben, um fundierte Entscheidungen zu treffen», sagt Kägi. Sein Rat ist gefragt: So wollte etwa der Wassersportverein Blauer Anker wissen, welche Bootsversiegelungen sie verwenden dürfen, ohne der Umwelt zu schaden. Kägi: «Diese Leute machten sich echte Sorgen – zum Glück war kein Nano drin.»

# Spurenstoffe im Abwasser beurteilen

**Tausende von Chemikalien kommen in Schweizer Haushalten täglich zum Einsatz und gelangen über die Kanalisation in die Gewässer. Einige davon sind für die Umwelt problematisch. Ein neues Beurteilungskonzept ermöglicht es, die prioritären Stoffe zu erfassen sowie den Handlungsbedarf und die Erfolgskontrolle von Massnahmen abzuschätzen.**

Zahlreiche Chemikalien werden über das Abwasser in Flüsse und Seen eingetragen und können dort bereits in kleinen Konzentrationen Wasserlebewesen beeinträchtigen. Dazu gehören Medikamente, die über den Urin in die Kanalisation und in die Kläranlagen gelangen. Auch gewisse problematische Stoffe in Reinigungsmitteln, Pflanzenschutzmittel oder Wirkstoffe zum Schutz vor Mikroorganismen an Fassaden und auf Dächern kommen mit dem Abwasser in die Kläranlagen. Solche Mikroverunreinigungen können dort mit den heute gängigen mechanisch-biologischen Verfahren nicht oder nur unzureichend entfernt werden.

## Bei den Stoffen Prioritäten setzen

Forschende der Abteilung Umweltchemie und des Oekotoxzentrums haben im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (Bafu) diese Mikroverunreinigungen unter die Lupe genommen. Sie haben untersucht, in welchen Gewässern solche Spurenstoffe zu Problemen führen, haben eruiert, welches die relevanten Stoffe sind, und Vorschläge erarbeitet, wie sich die Gewässerqualität bezüglich dieser Substanzen konkret beurteilen lässt. Ziel war es, ein praxistaugliches Beurteilungskonzept zu entwerfen.

*Gereinigtes Abwasser aus Kläranlagen mit grossem Einzugsgebiet, das in kleine Fliessgewässer eingeleitet wird, weist höhere Konzentrationen an Mikroverunreinigungen auf.*

«Wir konzentrierten uns auf Stoffe, die über die Kläranlagen in die Gewässer gelangen, da diese einfach nachzuweisen sind», erklärt Projektleiterin Juliane Hollender. Einträge aus diffusen Quellen, die nicht über den Abwasserpfad, sondern wie beispielsweise im Ackerbau eingesetzte Pflanzenschutzmittel räumlich und zeitlich verteilt anfielen, seien dagegen schwieriger zu erfassen. Zudem lassen sich Mikroverunreinigungen in Kläranlagen mit vergleichsweise einfachen Massnahmen reduzieren.

Die Liste aller potenziell schädlichen Stoffe ist lang, sie permanent zu überwachen ein Ding der Unmöglichkeit. Die Forschenden haben daher in Zusammenarbeit mit den Kantonen, dem Bafu und der Industrie rund 50 für die Schweiz besonders relevante Substanzen ausgewählt, die sie für Gewässerüberwachungsprogramme empfehlen. Kriterien für die Auswahl waren unter anderem, dass die Stoffe in grossen Mengen verwendet werden, dass sie wasserlöslich sind und damit tatsächlich in Gewässern vorkommen, dass sie schlecht abbaubar und gut analysierbar sind. Auch Stoffe, die nur in geringen Mengen in Gewässern auftreten, jedoch bekanntermassen Wasserorganismen beeinflussen, sind auf der Liste vertreten, etwa das weibliche Hormon Östradiol. Zudem achteten die Wissenschafter darauf, dass ihre Auswahl die unterschiedlichsten Stoffklassen abdeckt.

## Teilweise bedenkliche Konzentrationen

Am häufigsten sind pharmazeutische Wirkstoffe vertreten, neben Hormonen Antibiotika und Schmerzmittel. Das Schmerzmittel Diclofenac beispielsweise zählt zu den häufigsten in Gewässern nachgewiesenen Medikamenten. Es wird von Wasserlebewesen aufgenommen und kann in den nachgewiesenen Konzentrationen bei Fischen zu Organveränderungen führen und das Immunsystem beeinflussen. Auf der Liste stehen zudem Pflanzenschutzmittel sowie Korrosionsschutzmittel, wie sie etwa in Geschirrspülmitteln enthalten sind. Schliesslich gehören auch in der Industrie eingesetzte Chemikalien, die sich indirekt auf den Hormonhaushalt auswirken, zur Auswahl.

Für die relevantesten Stoffe haben die Forschenden individuelle Grenzwerte, so genannte Qualitätskriterien, hergeleitet, ab denen schädliche Wirkungen bei Wasserorganismen zu erwarten sind. Diese werden fortlaufend aktualisiert und ergänzt und stehen auf der Website des Oekotoxzentrums zur Verfügung.

Für sechs weit verbreitete Substanzen haben sie in einer Computersimulation die zu erwartenden Konzentrationen in den Gewässern errechnet. Zu den Stoffen

gehören das erwähnte Diclofenac sowie weitere häufig eingesetzte Medikamente (zwei Antibiotika, ein Herz- und ein Epilepsiemedikament) und ein Korrosionsschutzmittel. Aus dem Pro-Kopf-Verbrauch und aus Daten zum Abbau und Verhalten der Substanzen eruierten sie die Stoffmengen im Auslauf von rund 550 Kläranlagen und die zu erwartenden Umweltkonzentrationen im Gewässernetz.

In 14 Prozent der Abwasserreinigungsanlagen werden die Grenzwerte gleich für drei der sechs Stoffe überschritten – jedenfalls unter Annahme des ungünstigsten Falls: bei Niedrigwasser, wenn der Verdünnungseffekt in den Gewässern am geringsten ist. «Es sind vor allem solche Kläranlagen betroffen, die ein grosses Einzugsgebiet haben und gleichzeitig in kleine Fliessgewässer einleiten», so Hollender. «Dort werden die Substanzen weniger stark verdünnt.» Und dort bestehe Handlungsbedarf, die Belastung mit zusätzlichen Reinigungsschritten zu reduzieren, sagt die Umweltchemikerin.

## Entfernung mit Ozon oder Aktivkohle

Basierend auf diesen Ergebnissen hat das Bafu nun Kriterien definiert, um zu beurteilen, welche 100 Kläranlagen in den nächsten Jahren nachgerüstet werden sollen. Neben dem Schutz der Wasserlebewesen dient dies gemäss dem Vorsorgeprinzip auch der menschlichen Gesundheit, denn ein permanenter Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer könnte langfristig auch die Trinkwasserreserven gefährden.

Zwei mögliche zusätzliche Reinigungsschritte kommen laut den Forschenden für die Reduktion von Mikroverunreinigungen infrage. Zum einen könnte eine Behandlung des Abwassers mit Ozon diese in Stoffe umwandeln, von denen man aufgrund der bisherigen Kenntnisse erwartet, dass sie weniger schädlich sind. Zum anderen lassen sich die Mikroverunreinigungen durch die Beimischung von Aktivkohle aus dem Abwasser absondern. Beide Verfahren kennt man aus der Trinkwasseraufbereitung.

Wissenschafter der Eawag und der ETH Lausanne haben ihre Wirksamkeit in den Kläranlagen Regensdorf und Lausanne ausgiebig getestet. Wie sich zeigte, lassen sich damit viele, aber nicht alle der untersuchten Stoffe wirksam entfernen. Zu den gut entfernbaren Substanzen gehören zum Beispiel Hormone zur Empfängnisverhütung oder Diclofenac. Nur unvollständig eliminiert werden gewisse jodhaltige Kontrastmittel, die in der Radiologie zum Einsatz kommen.

*Mit einer Zusatzbehandlung mit Ozongas lassen sich viele Spurenstoffe wirksam aus dem Abwasser entfernen.*

## Routinemässige Überwachung möglich

Um die Wirksamkeit solcher Reinigungsschritte in der Praxis mit einfachen Mitteln zu überprüfen, haben die Forschenden fünf Indikatorsubstanzen definiert. Neben drei Medikamenten und einem Korrosionsschutzmittel gehört auch das Herbizid Mecoprop dazu, das im Fassadenschutz und als Pflanzenschutzmittel eingesetzt wird. Die Idee dieser Indikatorsubstanzen ist, sie stellvertretend für die ganze Stoffpalette routinemässig zu überwachen.

«Mit den ausgewählten 50 Stoffen, den Indikatorsubstanzen und den definierten Qualitätskriterien haben die Kantone brauchbare Werkzeuge in der Hand, um die Gewässerqualität zu beurteilen und die Massnahmen zu überwachen», sagt Hollender. Sie weist aber darauf hin, dass sowohl die Stoffe auf der Auswahlliste als auch die Indikatorsubstanzen regelmässig überprüft und gegebenenfalls angepasst werden müssen. Denn der Gebrauch von Medikamenten und Haushaltschemikalien könne sich mit der Zeit ändern, etwa weil neue Substanzen zugelassen oder alte verboten würden. ○○○

## Das Naduf-Messnetz nutzen

Um die Wasserqualität zu überwachen, werden mit dem Messnetz «Nationale Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer» (Naduf) klassische Problemsubstanzen wie Nährstoffe oder Schwermetalle erfasst. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt untersuchten Forschende der Eawag, ob sich mit den routinemässig anfallenden Proben auch Mikroverunreinigungen messen liessen. Während eines Jahres testeten sie dazu einen Teil des Probevolumens von fünf Naduf-Standorten auf zwölf repräsentative Pharmaka, Biozide und Herbizide.

An fast allen Standorten klappte der Nachweis bei 90 bis 100 Prozent der Proben. «Die zur Verfügung stehenden Volumina reichten aus, um die Mikroverunreinigungen feststellen zu können, ohne die bisherigen Analysen zu beeinträchtigen», sagt Christian Stamm von der Abteilung Umweltchemie. Die meisten Substanzen kamen in Gehalten von durchschnittlich weniger als 100 Nanogramm pro Liter vor; deutlich höhere Werte von über 1 Mikrogramm pro Liter wies das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol auf.

Die Resultate zeigten, so Stamm, dass sich das bestehende Probenahme-Regime auch zur Erfassung von Mikroverunreinigungen eigne. Allerdings liessen sich nur Stoffe nachweisen, die in genügend grossen Mengen im Umlauf seien, sodass sie in den Proben überhaupt in messbaren Konzentrationen vorlägen. Um Synergien zu nutzen und Doppelspurigkeiten zu vermeiden, empfehlen die Forschenden, das um Mikroverunreinigungen erweiterte Naduf-Programm in ein nationales Konzept zur Überwachung der Gewässerqualität einzubetten und mit den kantonalen Messstellen zu koordinieren.

www.eawag.ch/jb11/beurteilungskonzept
www.oekotoxzentrum.ch/qualitaetskriterien

Kontakt:
Prof. Juliane Hollender, juliane.hollender@eawag.ch

# Welcher Grenzwert für Pestizide?

**Noch fehlen in der Schweiz spezifische Grenzwerte für Pflanzenschutzmittel, die sich auf die Schädlichkeit dieser Stoffe für Wasserorganismen stützen. Eine einheitliche Bewertungsmethode, die auch in der EU zur Anwendung kommt, soll dieses Manko beheben.**

Pflanzenschutzmittel lassen sich in Schweizer Gewässern regelmässig nachweisen. Die Substanzen kontrollieren jedoch nicht nur unerwünschte Pflanzen oder Schädlinge, sondern können auch Wasserorganismen beeinträchtigen: Schon in Konzentrationen von einem Mikrogramm pro Liter oder weniger können die Stoffe für Fische, Krebse oder Algen tödlich sein.

In der Schweiz existiert für Pflanzenschutzmittel in Fliessgewässern derzeit ein genereller Grenzwert von 0,1 Mikrogramm pro Liter je Einzelstoff, der als pauschaler Wert aber nicht die Toxizität der einzelnen Substanzen abbildet. Zwar können gemäss Gewässerschutzverordnung individuelle Werte bestimmt werden, die auf Einzelstoffbeurteilungen im Rahmen des Zulassungsverfahrens für neue Pestizide beruhen. Da das methodische Vorgehen dabei unklar ist, liegen bislang jedoch keine gesetzlich bindenden individuellen Werte vor.

## Wert vom Experten abhängig

Zur ökotoxikologischen Beurteilung der Gewässerqualität wären individuelle Grenzwerte sinnvoll, die auf der Giftigkeit der jeweiligen Substanzen basieren, so genannte Qualitätskriterien. «Unterhalb dieser Werte sollten Wasserorganismen nicht geschädigt werden», erklärt Marion Junghans vom Oekotoxzentrum der Eawag und der ETH Lausanne.

*Nicht alle Pflanzenschutzmittel sind für Wasserorganismen gleich giftig.*

Wie lassen sich solche Qualitätskriterien bestimmen? Da es in der Schweiz noch kein einheitliches Vorgehen gibt, verglichen Junghans und ihre Projektpartner im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (Bafu) die drei Methoden, welche die EU mehrheitlich anwendet. Die europäischen Fachleute benutzen meist Toxizitätsdaten von Algen, Wasserflöhen und Fischen. Da die Informationen zur Giftigkeit für die meisten Substanzen mehr oder weniger limitiert sind, wird der aus den Daten ermittelte Toxizitätswert jeweils noch mit einem Sicherheitsfaktor zwischen 1 und 1000 multipliziert – eine Art Sicherheitsmarge, abhängig von der Datenlage.

Der Vergleich stützte sich auf Qualitätskriterien, welche die Universität Lausanne nach den EU-Methoden für einige in der Schweiz häufige Pflanzenschutzmittel abgeleitet hatte. Die Werte streuen für die untersuchten Herbizide (Diuron, Mecoprop und Terbutylazin), Fungizide (Carbendazim) und Insektizide (Imidacloprid und Diazinon) ein bis zwei Grössenordnungen um den aktuellen gesetzlichen Grenzwert von 0,1 Mikrogramm pro Liter.

Das bestätigt, dass für eine umfassendere ökotoxikologische Bewertung der Gewässerqualität spezifische Grenzwerte für die einzelnen Substanzen sinnvoller wären als ein pauschaler Wert.

Zudem offenbarte ein Vergleich dieser Resultate mit Beurteilungen internationaler Fachleute, dass die erhaltenen Werte stark von der individuellen Einschätzung der Personen abhängt. «Je nachdem, welche Toxizitätsdaten diese auswählten und mit welchem Sicherheitsfaktor sie rechneten, unterscheiden sich die Grenzwerte um bis das Zwanzigfache», so Junghans. Die Wahl der Methode sei dagegen viel weniger wichtig, so differierten die Werte je nach Prozedere höchstens um den Faktor drei.

## Mit der EU gleichziehen

Das Risiko von Pestiziden muss in der Schweiz auch im Rahmen der Pflanzenschutzmittelzulassung abgeklärt werden. Die dort erhaltenen Werte lassen sich allerdings für den Gewässerschutz nicht direkt übernehmen, da die zugrunde liegenden Gesetze andere Schutzziele verfolgen. Während die Pflanzenschutzmittelverordnung kurzzeitige Beeinträchtigungen der Pflanzen- und Tiergemeinschaften akzeptiert, toleriert das Gewässerschutzgesetz ebenso wie die Wasserrahmenrichtlinie der EU auch dann keine Schädigung, wenn sich die Bestände wieder erholen.

Die EU hat beschlossen, mittelfristig die so genannte technische Vorschrift für die Ableitung von Umweltqualitätsnormen unter der Wasserrahmenrichtlinie – eine der von Junghans und ihren Kollegen untersuchten Methoden – in all ihren Mitgliederländern einzusetzen.

Daher empfiehlt das Oekotoxzentrum, diese auch in der Schweiz zu verwenden. «Um den Einfluss von Expertenentscheiden abzuschwächen, sollten aber unabhängige externe Gutachterinnen oder Gutachter die Werte kontrollieren», schlägt Junghans vor. Das Oekotoxzentrum wendet die Methode bereits in einem Folgeprojekt an, um für das Bafu Qualitätskriterien für zahlreiche Pflanzenschutzmittel abzuleiten. ○ ○ ○

www.oekotoxzentrum.ch/psm

Kontakt:
Dr. Marion Junghans,
marion.junghans@oekotoxzentrum.ch

# Nase ist nicht gleich Nase

**Einst eine häufige Fischart, droht die Nase in der Schweiz auszusterben. Das Aussetzen von Jungfischen soll helfen, verschwundene Bestände wieder anzusiedeln und verbliebene zu stützen. Dabei gilt es, die genetischen Unterschiede zwischen den Populationen zu berücksichtigen.**

In den Flüssen des Mittellandes war die Nase *(Chondrostoma nasus)* früher eine der häufigsten Fischarten. Seit mehreren Jahrzehnten brechen die Bestände jedoch massiv ein; vielerorts ist die Art bereits nicht mehr nachweisbar. Dabei dürften sowohl die Wasserqualität als auch der Verlust an geeigneten Lebensräumen durch Begradigung, Fragmentierung und Stauhaltung der Flüsse eine Rolle spielen. Denn die Nase braucht je nach Lebensphase unterschiedlich strukturierte Gewässerabschnitte. So zieht sie zum Laichen etwa flussaufwärts und in Seitenbäche, wo sie ihre Eier an stark überströmten Kiesstellen ablegt.

## Unterschiede erhalten

Nasen profitieren, wenn Gewässerabschnitte revitalisiert und Aufstiegshindernisse beseitigt werden. Ihre Bestände sind heute allerdings stark fragmentiert und meist so klein, dass es unumgänglich erscheint, sie zusätzlich durch das Aussetzen von Jungfischen zu stärken und insbesondere lokal ausgestorbene Populationen in revitalisierten Gewässern wieder anzusiedeln.

Ohne Kenntnis der genetischen Verwandtschaften der Nasenpopulationen sollten solche Besatzmassnahmen aber nicht geschehen. Denn diese könnten verschiedenen evolutiven Linien angehören und sich in ihren genetischen Eigenschaften wesentlich unterscheiden. «Solche genetische Unterschiede gilt es unbedingt zu erhalten», sagt Pascal Vonlanthen von der Forschungsabteilung Fischökologie und Evolution. «Sie stellen wichtige Anpassungen an die Umweltbedingungen der Standorte dar, die sich über lange Zeiträume herausgebildet haben.»

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt hat der Wissenschafter zusammen mit Kollegen deshalb die genetische Variabilität der Schweizer Nasen untersucht. Zu diesem Zweck fingen die Forscher Fische an zwölf Standorten. Diese wurden betäubt, dann gemessen und gewogen. Für die genetischen Analysen entnahmen die Biologen an der Analflosse eine Gewebeprobe. Um Unterschiede in der Körperform zu analysieren, fotografierten sie die Tiere; deren Alter bestimmten sie anhand einiger Schuppen. Danach entliessen sie die Fische wieder ins Wasser.

## Eigenständige Populationen

Die Untersuchung deckte klare Differenzierungen auf. So unterscheiden sich die Populationen aus dem Einzugsgebiet des Bodensees deutlich von jenen aus dem Gebiet des Hochrheins und scheinen verschiedenen evolutiven Linien anzugehören. Unterhalb des Rheinfalls sind sich die Bestände dagegen genetisch ähnlich – mit Ausnahme des Zürcher Schanzengrabens, wo sich offenbar eine isolierte Population mit stark abweichenden Merkmalen entwickelt hat.

*Unterschiede im Körperbau der Nasen deuten auf lokale Umweltanpassungen hin.*

Die morphologischen Untersuchungen zeigen jedoch, dass auch die Populationen innerhalb des Rheins nicht ganz so homogen sind, wie die analysierten genetischen Merkmale es erscheinen lassen. So unterscheiden sich Nasen aus dem oberen Einzugsgebiet (Rotbach, Suhre) und jene aus den Unterläufen (Birs, Wiese) in der Kopfgrösse sowie in der Kopf- und Körperform. «Das könnte auf lokale Anpassungen an die Umwelt hindeuten», erklärt Vonlanthen.

Die Schweiz weise demnach mindestens vier eigenständige Nasenpopulationen auf, die bei Schutzmassnahmen separat zu betrachten seien, folgern die Biologen. «Bei Besatzmassnahmen sollten deshalb nur Individuen der jeweiligen Einheiten verwendet werden», sagt Vonlanthen. In erster Linie gelte es aber, die noch bestehenden Populationen durch gezielte Aufwertungen ihrer Lebensräume zu stützen. ○○○

Kontakt:
Dr. Pascal Vonlanthen, pascal.vonlanthen@eawag.ch

## Was Laichgruben verraten

Im Oktober beginnt in den meisten Gewässern der Schweiz die Laichzeit der Bachforellen. Mit der Schwanzflosse schlagen die Weibchen Laichgruben in den Kies, um dort später ihre Eier abzulegen. Diese Laichgruben waren im November 2011 Thema eines Workshops der Fischereiberatungsstelle (Fiber), welche die Eawag, das Bundesamt für Umwelt und der Schweizerische Fischereiverband gemeinsam betreiben. Anhand von Laichgruben lässt sich erkennen, wie gut die natürliche Fortpflanzung in einem Gewässer funktioniert. Das Monitoring von Laichgruben und die Zählung der Brütlinge im Frühjahr hilft, Bewirtschaftungs- und Schonmassnahmen zu treffen, und bietet eine Alternative zur Elektrofischerei. Rund 70 Teilnehmende nutzten das Weiterbildungsangebot in Sursee und Fribourg. Dass die Fische ganze Arbeit geleistet hatten, bestätigte sich bei der Kartierung der unzähligen Laichgruben.

www.fischereiberatung.ch
Kontakt: Jean-Martin Fierz, jean-martin.fierz@eawag.ch

# Schaden und Nutzen abwägen

**Beim Bau von Wasserkraftanlagen gilt es, die ökologischen Folgen auf die Gewässer abzuschätzen. So lassen sich Bauvorhaben optimieren und schonende Lösungen entwickeln. Das zeigt das Projekt Lagobianco im Puschlav, wo ein grosses Pumpspeicherkraftwerk geplant ist. Die Eawag hat untersucht, wie sich Temperatur und Trübung in den beteiligten Seen verändern.**

Der quantitative Gewässerschutz hat in den letzten 20 Jahren in der Schweiz an Bedeutung gewonnen. Das betrifft auch die Produzenten von Strom aus Wasserkraft: Wer eine neue Konzession beantragt, muss in allen Wasserstrecken angemessene Restwassermengen einplanen. Zudem sind bestehende Restwasserstrecken zu sanieren, soweit dies wirtschaftlich tragbar ist. Das verlangt das Gewässerschutzgesetz seit 1992. Nach einer erneuten Revision des Gesetzes im Jahr 2010 müssen Kraftwerkbetreiber zusätzlich durch die Stromproduktion entstehende Abflussschwankungen (Schwall und Sunk) vermindern. Auf der anderen Seite wächst die Bedeutung der Wasserkraft, weil erneuerbare Energien mittelfristig den Atomstrom ersetzen sollen.

## Das Seewasser wird wärmer

So sind zurzeit in der Schweiz verschiedene Pumpspeicherkraftwerke geplant oder im Bau. Sie dienen dazu, mit überschüssiger Bandenergie Wasser in Stauseen hochzupumpen, um es bei Verbrauchsspitzen erneut zu verstromen. Einen solchen Pumpspeicherbetrieb von 1000 Megawatt Leistung will der Elektrizitätskonzern Repower mit dem Ausbau der Kraftwerkanlagen im Puschlav aufnehmen. Dabei soll Wasser aus dem natürlich entstandenen Lago di Poschiavo in den bestehenden Stausee Lago Bianco hochgepumpt werden. Gemäss Gewässerschutzverordnung dürfen sich solche Änderungen auf die aquatische Umwelt nicht nachteilig auswirken.

Zum Umweltverträglichkeitsbericht, den das Projekt Lagobianco erfordert, haben Alfred Wüest von der Forschungsabteilung Oberflächengewässer der Eawag und seine Mitarbeitenden drei Fachgutachten beigesteuert. Diese zeigen anhand von Computersimulationen und Modellrechnungen, wie sich die Temperaturen und Partikelkonzentrationen in den beiden Seen durch den Wasseraustausch verändern.

«Der Pumpspeicherbetrieb lässt vielfältige Verschiebungen bei der Wasserdurchmischung, Temperatur und Trübung erwarten», sagt der an der Untersuchung beteiligte Martin Schmid. Erste Abschätzungen hatten gezeigt, dass dabei nicht die Höhe der installierten Leistung die Hauptrolle spielt, sondern vielmehr die meteorologischen Rahmenbedingungen und der zeitliche Verlauf des Pumpspeicherbetriebs. Deshalb führten die Wissenschafter mithilfe der Wetterverhältnisse, wie sie in den Jahren 1981 bis 2009 vor Ort herrschten, sowie vier Abflussszenarien vertiefte Berechnungen durch.

Demnach erwärmt der geplante Pumpspeicherbetrieb beide Seen. Insbesondere der Lago di Poschiavo wird im Bereich, wo das turbinierte Wasser aus dem Lago Bianco eintritt, gegen Ende Sommer um drei bis vier Grad wärmer als heute; in besonders trockenen Jahren können es sogar bis sechs Grad sein. Das liegt laut den Experten daran, dass sich der Lago Bianco als flacher Stausee im Sommer leicht erwärmt und dieses warme Wasser an den unteren See abgibt. Hinzu kommt Reibungsabwärme aus dem Pump- und Turbinenbetrieb. In den Wintermonaten erhöht sich die Temperatur im Lago Bianco, weil neu Wasser aus dem wärmeren Lago di Poschiavo hochgepumpt wird. Das verkürzt die Zeit, in welcher der See mit Eis bedeckt ist. Die Klimaveränderung könnte diesen Effekt noch verstärken.

## Ausgeglichene Umweltbilanz

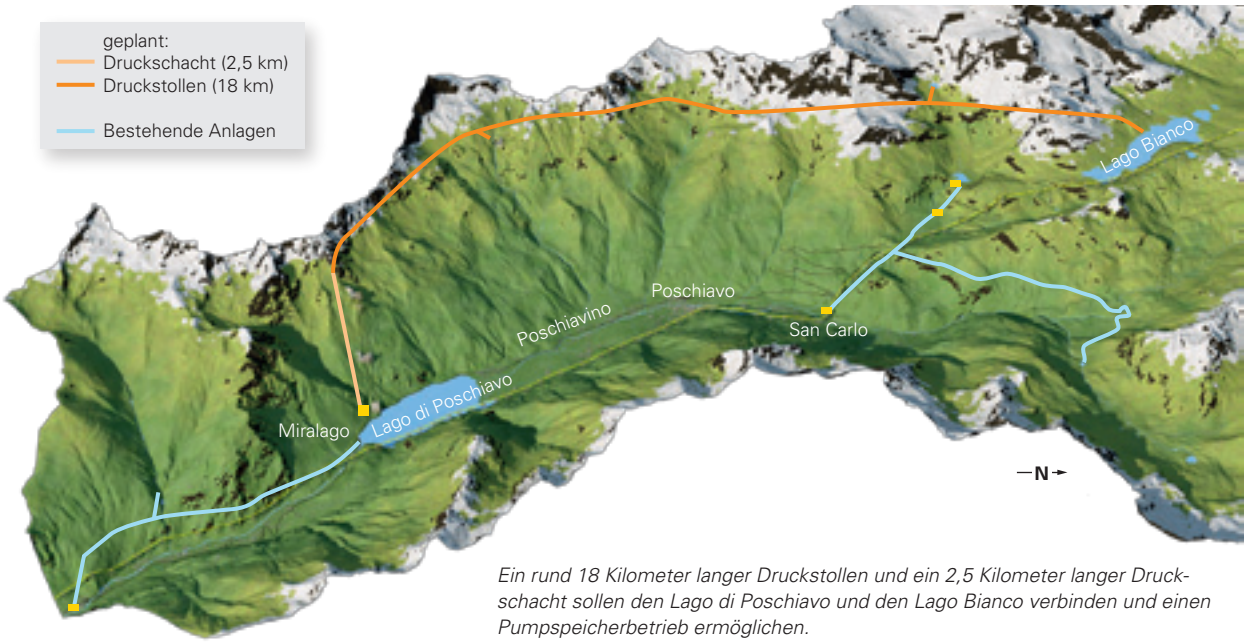
Der Austausch des Wassers zwischen den beiden Seen lässt die Konzentration von Trübstoffen im Lago Bianco sinken. Im Sommer beträgt die Abnahme gegenüber den heutigen Verhältnissen mindestens 50 Prozent, wodurch

## Strom für Afrika

Da afrikanische Länder ihre Flüsse zunehmend zur Stromproduktion nutzen, interessieren auch dort die ökologischen Auswirkungen. So haben Manuel Kunz und Roland Zurbrügg von der Eawag in Sambia untersucht, wie sich der Bau des Itezhi-Tezhi-Staubeckens auf das darunter liegende Ramsar-Schutzgebiet Kafue Flats auswirkte. Die 1978 fertiggestellte Staustufe hatte bisher lediglich Speicherfunktion, um ein weiter unten liegendes Kraftwerk auch in der Trockenzeit mit Wasser zu versorgen. Jetzt soll der Staudamm mit Turbinen ausgerüstet werden.

Die Untersuchungen der Eawag-Wissenschafter zeigen, dass der Stausee in den rund 30 Betriebsjahren alljährlich 330 000 Tonnen Sedimente zurückhielt und der Kafue-Schwemmebene 50 Prozent des möglichen Stickstoffeintrags sowie 60 Prozent des Phosphors entzog. Würde man die neu vorgesehenen Turbinen mit Tiefenwasser betreiben, könnten diese Nährstoffverluste kompensiert werden. Allerdings wäre der Sauerstoffgehalt des Wassers aus dem Stausee dann lebensfeindlich tief. Die Forschenden empfehlen deshalb, das Wasser zu je 50 Prozent oberflächlich und aus der Tiefe zu entnehmen. Damit bliebe der Sauerstoff auf einem akzeptablen Niveau, während gleichzeitig sechsmal mehr Stickstoff und doppelt so viel Phosphor in die Kafue Flats gelangen würde als bisher. So liesse sich das Feuchtgebiet wieder in einen natürlicheren Zustand zurückführen.

www.eawag.ch/jb11/adapt




*Ein rund 18 Kilometer langer Druckstollen und ein 2,5 Kilometer langer Druckschacht sollen den Lago di Poschiavo und den Lago Bianco verbinden und einen Pumpspeicherbetrieb ermöglichen.*

der Stausee deutlich klarer wird. Im Lago di Poschiavo hingegen reichern sich die Partikel vorwiegend im Bereich der Einleitungstiefe an. Mischt sich das Wasser infolge Turbulenzen, gelangen sie aus dem Tiefenwasser auch an die Oberfläche. Durchschnittlich verringert sich dadurch die lichtreiche Schicht im Lago di Poschiavo um 10 bis 30 Prozent. Damit verkleinert sich der nutzbare Lebensraum für lichtbedürftige Wasserorganismen. Starker Wind steigert diesen Effekt.

Die Partikelkonzentration an der Oberfläche liesse sich zwar deutlich senken, wenn die Ein- und Ausleitung des Wassers an eine tiefere Stelle verlegt würde, erklärt der ebenfalls an der Studie beteiligte Matteo Bonalumi. Doch dann könne sich das gesamte Tiefenwasser im Herbst auf bis zu acht Grad erwärmen. Ebenso wenig helfe es, den Seeabfluss nicht mehr mit Oberflächenwasser zu speisen, sondern partikelreiches Tiefenwasser abzulassen. Denn das hätte einen unerwünschten Effekt auf die Temperaturschichtung im See.

In trockenen Jahren, so zeigen die Simulationen, wird der Pumpspeicherbetrieb Temperatur und Trübung generell stärker steigern als in niederschlagsreichen. Denn die beschriebenen Effekte sind dann dominant, wenn die Zuflüsse wenig Wasser führen. «Das Wasser trübt sich durch den Pumpspeicherbetrieb weniger stark als erwartet, die Temperaturerhöhung aber ist bedeutend und hat möglicherweise negative Auswirkungen auf die aquatische Umwelt», kommentiert Schmid die Ergebnisse. Hingegen ermögliche das Projekt, den durch den Lago di Poschiavo fliessenden Poschiavino vom Schwall-Sunk-Betrieb zu entlasten, höhere und dynamischere Restwassermengen und verschiedene Revitalisierungsmassnahmen. Deshalb kommt der Umweltverträglichkeitsbericht zum Schluss, dass das Projekt trotz erheblicher Eingriffe aus ökologischer Sicht vertretbar ist. Als Konzessionsbehörde wird der Kanton Graubünden nun darüber entscheiden.

## Schweizweit ungenügende Restwassermengen

Was die Restwassermengen betrifft, ist man andernorts weniger weit. Dies lässt zumindest eine von der Eawag kürzlich entwickelte Internetkarte befürchten, die den Umsetzungsstand der Restwasserbestimmungen 12 Jahre nach deren Einführung für sämtliche Gewässerabschnitte darstellt: 1318 Restwasserstrecken von insgesamt 2700 Kilometern Länge. Mit Anklicken der Wasserfassung lässt sich ablesen, auf welchen Wert die im Gewässer zu belassende Wassermenge festgelegt wurde (Dotierwassermenge). Für die Hälfte der Fassungen fehlen die Angaben und es ist davon auszugehen, dass ein beträchtlicher Teil dieser Strecken kein Restwasser erhält. Bei zusätzlichen 28 Prozent der Gewässerabschnitte zeigt sich, dass sie mit keinem oder sehr wenig Restwasser dotiert sind. 11 Prozent führen 10 bis 90 Prozent der Mindestrestwassermenge. Und nur bei 11 Prozent der Anlagen beziehungsweise 13 Prozent der Fliessstrecken entspricht die Dotierwassermenge über 90 Prozent der gesetzlich vorgeschriebenen Restwassermindestmenge. Die Eawag-Forschenden empfehlen, die Karte 2014 zu aktualisieren. Denn bis Ende 2012 müssten alle Sanierungen von den Kantonen umgesetzt und die Datenlücken beseitigt sein. ○○○

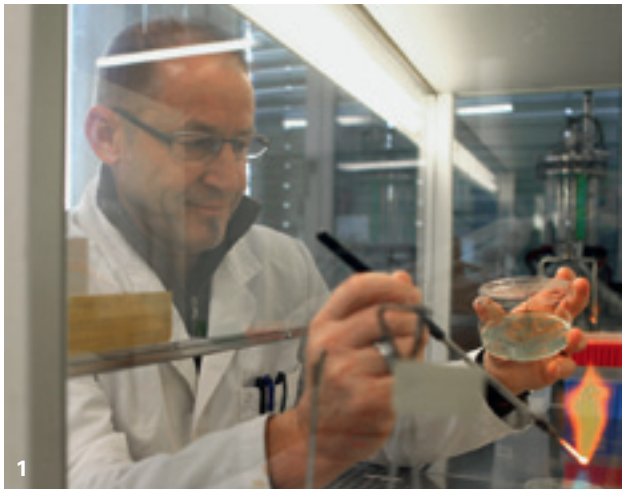
www.lagobianco.repower.com
www.eawag.ch/webkarte-restwasser

Kontakt Lagobianco:
Prof. Alfred Wüest, alfred.wueest@eawag.ch
Dr. Martin Schmid, martin.schmid@eawag.ch

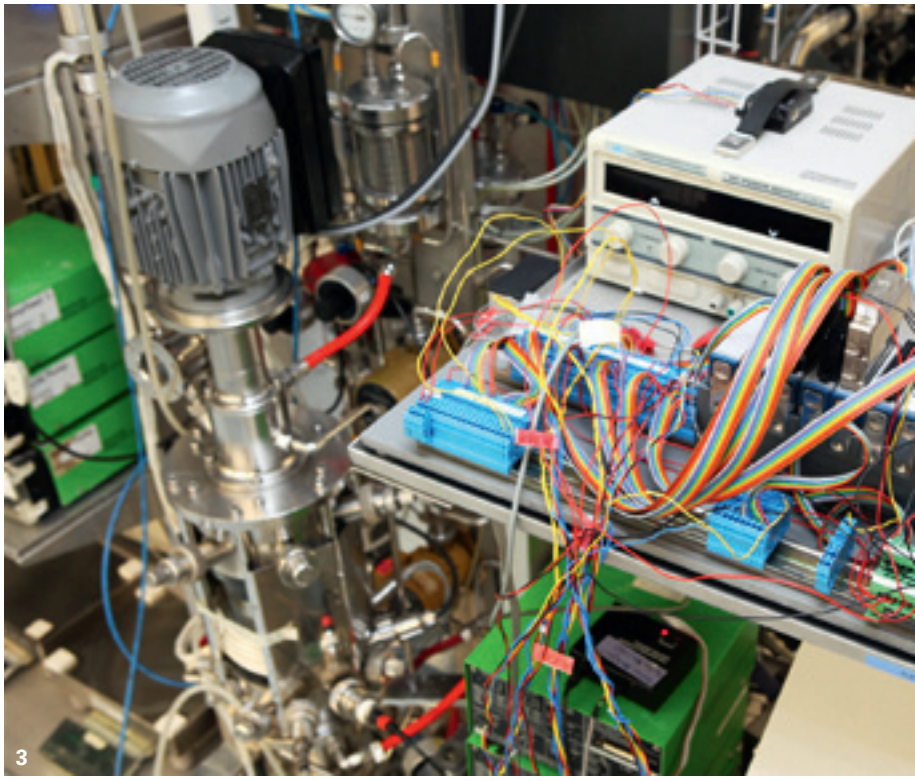
Kontakt Restwasserkarten:
Prof. Bernhard Wehrli, bernhard.wehrli@eawag.ch

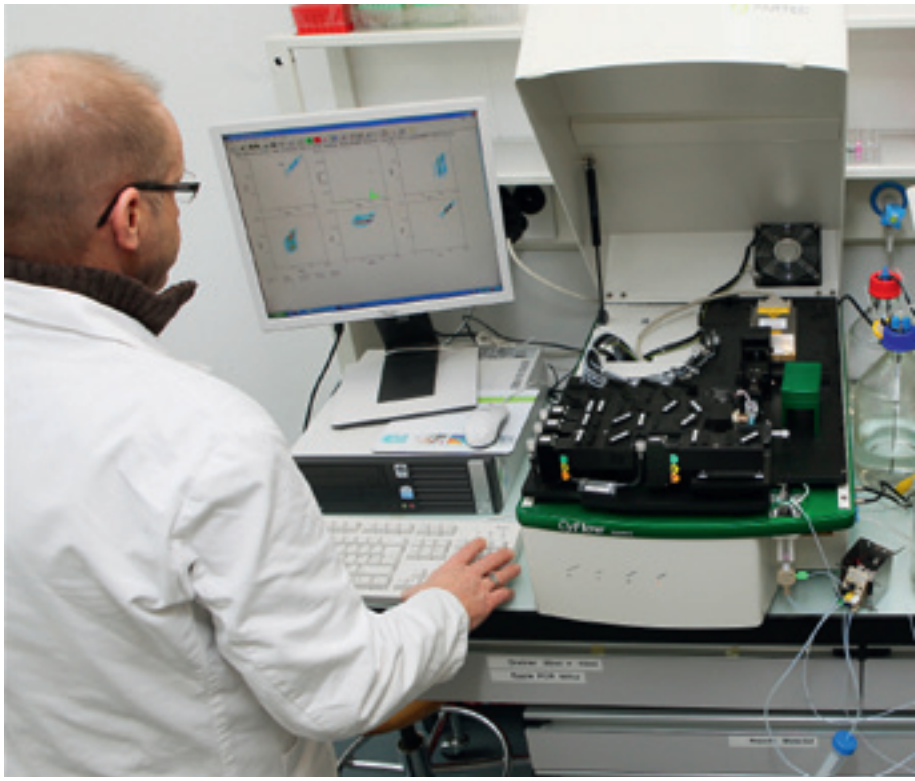
# Zellen zählen wird schneller und einfacher

**Zu jedem Zeitpunkt und nach jedem Behandlungsschritt der Trinkwasseraufbereitung die bakteriologische Wasserqualität sofort überwachen können – diese Vision ist dank einer Weiterentwicklung der Durchflusszytometrie und einem Anfärberoboter Wirklichkeit geworden. Die Chance, dass die Gerätekombination erfolgreich auf den Markt kommt, ist hoch.**


1

2


3



**1+2** Eawag-Techniker Hans-Ulrich Weilenmann sterilisiert eine Impf-Öse und bringt damit eine neue Probe auf eine Nährstoffplatte, wo später die aufwachsenden Bakterienkolonien gezählt werden können. Das war einmal.

**3** Die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Wädenswil entwickelte für die Analyse von Bioprozessen einen ersten Prototyp für die Online-Probenvorbereitung.

**4** Projektleiter Frederik Hammes (links) von der Eawag im Gespräch mit den Biotechnologen von der ZHAW-Fachgruppe für Biochemical Engineering.

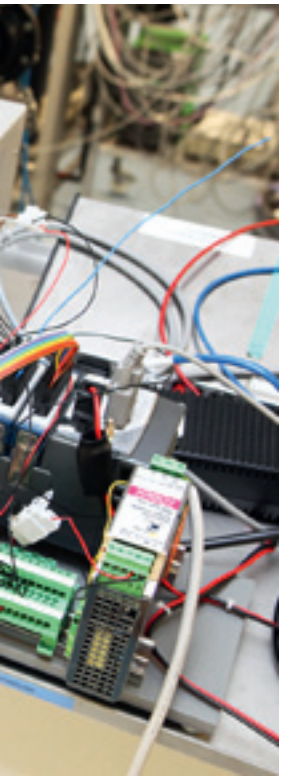
**5** Automatisch werden kleinste Wasserproben ins modifizierte Durchflusszytometer geführt.

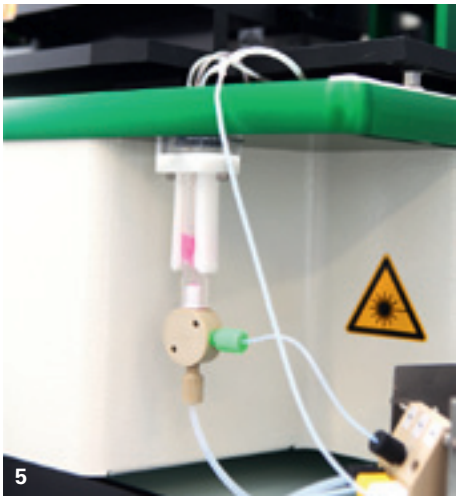
**6** Der Laserstrahl trifft auf die Proben.

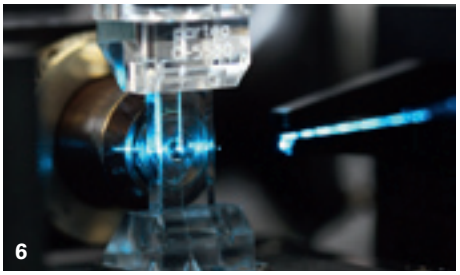
**7** Die weiterentwickelte Anlage im Labor der Abteilung für Umweltmikrobiologie an der Eawag: rechts das neu konstruierte Gerät, wo die Zellen im Wasser angefärbt werden, bevor die Proben dann zur eigentlichen Messung ins Durchflusszytometer geschickt werden.

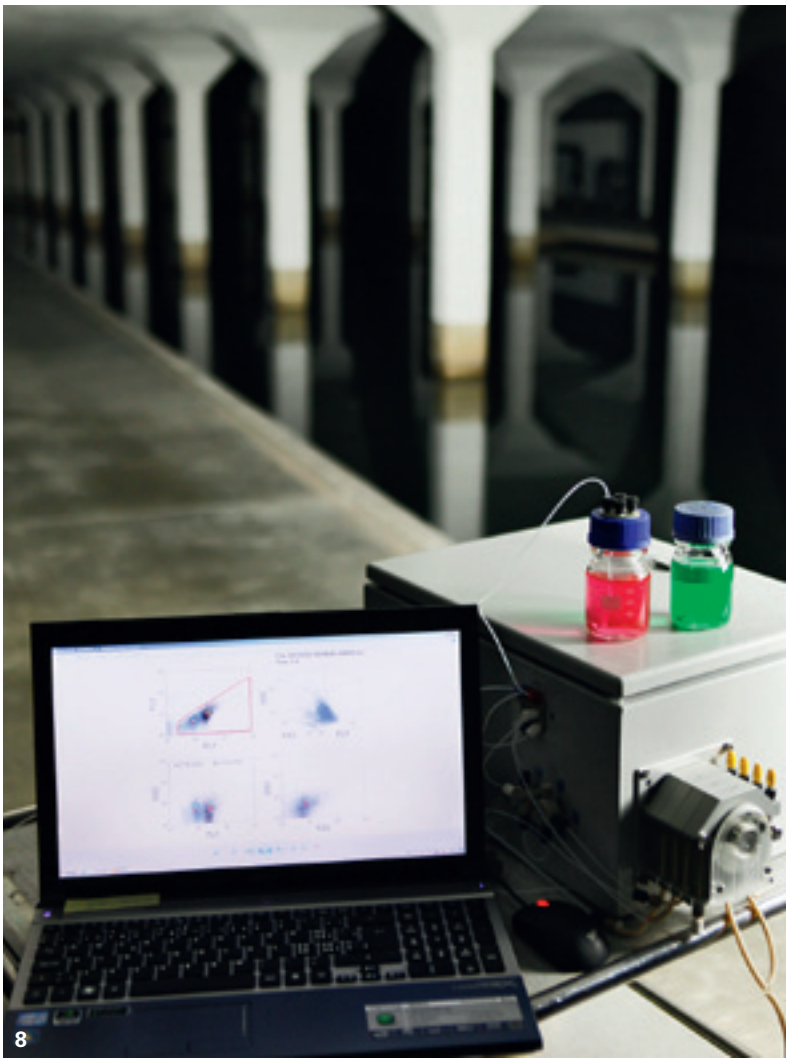
**8** Online-Einsatz in der Praxis: Der Anfärberoboter wird laufend mit Wasser aus dem Sandfilter der Wasserversorgung Zürich beschickt. Schon nach wenigen Minuten können die Resultate am Laptop abgerufen werden.

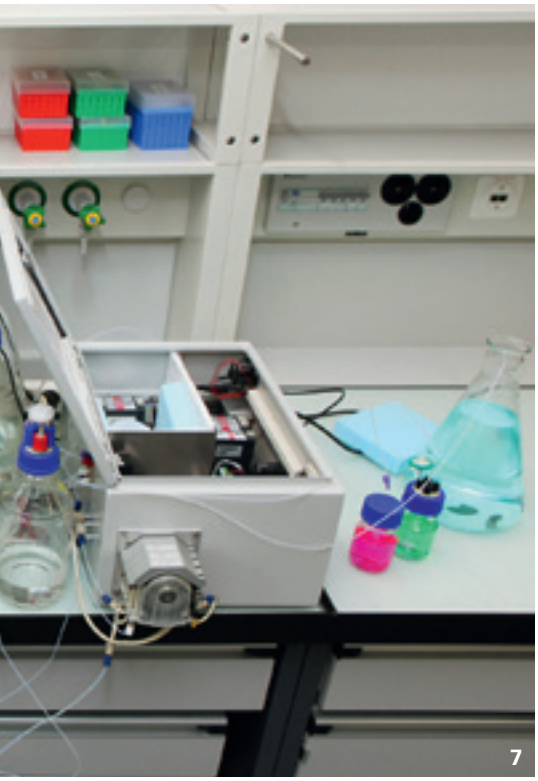
4




5


6


8


7

## Profitieren von den Bioingenieuren

Noch immer gilt das Aufwachsenlassen von Bakterien auf Nährmedien und das anschliessende Auszählen der sichtbaren Kolonien als Standardmethode zum Test von Wasserproben. Doch das Verfahren benötigt mindestens 18 Stunden Zeit und erfasst erst noch nur einen Bruchteil der im Wasser enthaltenen Zellen. Seit rund zehn Jahren arbeiten daher Mikrobiologen der Eawag an der Weiterentwicklung einer Methodik und eines Geräts, die eigentlich aus dem Spitalbereich stammen, wo sie zum Zählen von Blutzellen eingesetzt werden. Das Durchflusszytometer erfasst mit einem Laserstrahl zuvor angefärbte Zellen. Resultate liegen innert Minuten vor. Das Verfahren wird bereits in der Praxis zur Trinkwasserüberwachung eingesetzt.

Nun sind die Forschenden erneut einen Schritt weitergegangen: Zusammen mit Chemikern der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften in Wädenswil und der Wasserversorgung Zürich (WVZ) haben sie ein zusätzliches Gerät – einen Anfärberoboter – konstruiert. Dieses bereitet Wasserproben automatisch vor und schickt sie dann laufend an das Durchflusszytometer. So wird es möglich, die Bakterienzahlen online zu überwachen; je nach Einstellung sind auch weitere Aussagen möglich, etwa über die Bakterienarten, den Anteil lebensfähiger Zellen oder bakterielle Änderungen im Verlauf eines Prozesses. Während die ersten Versuchsanordnungen in Wädenswil noch abenteuerliche Dimensionen hatten, konnte der Roboter inzwischen auf die Grösse eines PC-Gehäuses reduziert werden. Die Tests, erneut zusammen mit der WVZ, laufen so erfolgreich, dass die Forschenden sich für ihr Gerät auf dem Markt grosse Chancen ausrechnen. Ein Folgeprojekt wird daher von der Förderagentur für Innovation des Bundes (KTI) unterstützt.

# Die Eawag 2011

*Eine breite Auswahl an Vorträgen gibt am Jubiläumsinfotag einen Überblick über die aktuelle Eawag-Forschung.*

Das Jubiläumsjahr der Eawag stand im Zeichen des Dialogs mit der Praxis. So lud das Forschungsinstitut Wasserfachleute und interessierte Laien zum Infotag für einmal in ihr Hauptgebäude nach Dübendorf ein. Ein breites Programm an Vorträgen gab einen Überblick über die aktuelle Forschung und ein Festakt brachte Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft zusammen. Mit einem Anlass für ehemalige Doktorierende suchte sie ebenfalls den Kontakt zu den Fachleuten in Behörden, Verbänden und der Wirtschaft und bot jungen Forschenden die Möglichkeit für Begegnungen. Ergänzt wurden die Jubiläumsaktivitäten durch zahlreiche Artikel in verschiedensten Medien sowie durch eine Publikation über ihre 75-jährige Geschichte. Mit Vorträgen stellten Eawag-Experten überdies Verbänden und Vereinen aus dem Wasserfach ihre aktuelle Forschung vor.

## Eawag im Dialog

### Wasserforschung hautnah

2011 nahm die Eawag auch an zahlreichen öffentlichen Veranstaltungen teil, wo sie Fragen des Wassers mit der Bevölkerung diskutierte. Der Science-City-Treffpunkt an der ETH Zürich wurde zum Beispiel massgeblich von Eawag-Fachleuten gestaltet und an einer speziellen Führung konnten Besucherinnen und Besucher die Forschung auch in Dübendorf live erleben. Den Austausch suchten die Forschenden ausserdem mit der Teilnahme an den Zürcher Umwelttagen und an einer Fischerlandsgemeinde in Sempach sowie mit den öffentlichen Führungen, die regelmässig an den beiden Standorten Dübendorf und Kastanienbaum stattfinden.

### Südafrikanische Ministerin zu Gast

Die stark in der Schweiz verankerte Eawag hat auch eine grosse internationale Ausstrahlung. Das spiegelt sich nicht nur in der Wissenschaft oder der Mitarbeit in internationalen Expertengruppen, sondern auch in Besuchen hochrangiger Delegationen aus dem Ausland. So haben 2011 unter anderem Besuchergruppen aus Südkorea, Brasilien, den USA und Südafrika das Wasserforschungsinstitut besucht. Naledi Pandor, die Ministerin für Forschung und Technologie von Südafrika, war im Juni zu Gast. Sie folgte einer Einladung des Schweizer Staatssekretariats für Bildung und Forschung, welche die Forschungskooperation zwischen der Schweiz und Südafrika aktiv fördert. In Pandors Heimatstadt Durban betreibt die Eawag zudem ein Forschungsprojekt über Nährstoffrecycling aus Abwasser und pflegt enge Kontakte mit südafrikanischen Universitäten.

*Die Ministerin für Forschung und Technologie von Südafrika, Naledi Pandor, besuchte im Juni 2011 die Eawag in Dübendorf.*

## Auszeichnungen

### Fünf Doktorarbeiten ausgezeichnet

Die Anerkennung der eigenen Leistung ist für junge wie erfahrene Wissenschafterinnen und Wissenschafter eine wichtige Motivation für ihre Arbeit. 2011 konnten verschiedene Eawag-Forschende namhafte Preise entgegennehmen (siehe Höhepunkte S. 4–7). Zudem erhielten fünf junge Forscherinnen und Forscher Preise für ihre Doktorarbeiten. Saskia Zimmermann erhielt den Otto-Jaag-Gewässerschutz-Preis für ihre Arbeit zur Abwasserbehandlung. Andreas Kretschmann wurde für seine Forschung über die Risikobewertung

von Insektiziden gleich zweimal ausgezeichnet, zum einen mit dem Preis der Fachgruppe Umweltchemie und Ökotoxikologie der Gesellschaft Deutscher Chemiker und zum anderen mit der ETH-Medaille. Monireh Faramarzi bekam für ihre Studie über Lösungen bei Wasserknappheit im Iran ebenfalls die ETH-Medaille. Lee Bryant erhielt eine Auszeichnung ihrer amerikanischen Heimatuniversität für die Dissertation über Stoffflüsse in Gewässern. Und zum Jahreswechsel konnte auch Marius Vital eine ETH-Medaille für seine Doktorarbeit über das Wachstum pathogener Bakterien im Süsswasser entgegennehmen.

*Heidi Wunderli, die Rektorin der ETH Zürich, überreicht der jungen Wissenschafterin Monireh Faramarzi an der Promotionsfeier die ETH-Medaille.*

### Klimapreis für Stickstoffrecycling

Im Rahmen der Verleihung des Klimapreises der Zurich-Versicherung wurde der Eawag im März 2011 für das Projekt «Stickstoffrecycling mittels Luftstrippung auf der Kläranlage Kloten/Opfikon» der Sonderpreis verliehen. Die Versicherung finanziert den Klimapreis mit Mitteln aus der rückerstatteten $CO_2$-Lenkungsabgabe und investiert so in regionale Projekte zur Senkung der Kohlendioxidemissionen. Sie prämiert umsetzbare Projekte, die zur Senkung des $CO_2$-Gehalts in der Atmosphäre beitragen oder eine Verhaltensänderung in diese Richtung bewirken.

## Infrastruktur

### Sanierung in Kastanienbaum

Am Standort Kastanienbaum wurden im seit 1970 bestehenden Terrassenbau umfassende Sanierungsmassnahmen eingeleitet. Das grösste der drei bestehenden Gebäude beherbergt 8 Büros und 35 Labors für die Forschungsbereiche Fischökologie, aquatische Ökologie und Oberflächengewässerforschung.

Das 2011 gestartete Sanierungsprogramm beinhaltet im Wesentlichen die Dach- und Fenstersanierung sowie die Erneuerung der Haustechnik (Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Heizung, Sanitär, Elektrik). Bei der Sanierung wurden in den alten Lüftungskanälen asbesthaltige Bauteile entdeckt, die man unter aufwändigen Sicherheitsmassnahmen fachgerecht und schnell beseitigen konnte. Die Erneuerungsarbeiten erfolgen unter Aufrechterhaltung des Forschungsbetriebs und dauern noch bis Ende 2012.

### Neue Räume für Entspannung und Austausch

Eine gute Arbeitssituation zeichnet sich nicht nur durch gute technische Infrastruktur, genügend Platz und adäquate Ausstattung aus, sondern auch dadurch, dass Möglichkeiten bestehen, um sich zu regenerieren oder in Ruhe Gedanken zu entwickeln und zu vertiefen. Die Eawag hat deshalb im Bürogebäude in Dübendorf für ihre Mitarbeitenden einen Ruheraum eröffnet. Er steht allen zur freien Verfügung und wird rege genutzt. Auch die neue Kaffee-Lounge im Atrium des Hauptgebäudes soll dazu beitragen, dass die Mitarbeitenden Raum für Gespräche und Entspannung haben. Weitere Sitzgelegenheiten, Tischtennis und Tischfussball bieten Möglichkeiten zu gemeinsamen Aktivitäten und Austausch.

## Umweltmanagement

### Weniger Energie verbraucht

Die Eawag konnte ihren Energieverbrauch für Wärme und Kälte durch Renovationsmassnahmen im Gebäudebereich stark senken. 1998 und

*Die Sanierungsarbeiten im Terrassenbau der Eawag Kastanienbaum aus den 1970er-Jahren sind angelaufen.*

früher betrug dieser 7,5 Terajoule, nach Abschluss der Arbeiten noch rund 2 Terajoule – trotz markant mehr Mitarbeitender. Eine gemeinsam mit der Empa optimierte Datenerfassung und ein Datenverarbeitungssystem der Immobilienabteilung der ETH Zürich vereinfachen zudem die Überwachung des Energieverbrauchs der Einzelgebäude. So lässt sich die Steuerung verfeinern und es können gezielter Massnahmen zur weiteren Verbesserung ergriffen werden.

### Mehr erneuerbare Energie

Der Stromverbrauch pendelt seit 2005 zwischen 8 und 10 Terajoule und liegt bei 20 bis 25 Megajoule pro Person. Hier setzt die Eawag auf erneuerbare Energien. Sie produziert eigenen Fotovoltaik-Strom und deckt in Dübendorf den verbleibenden Verbrauch vollständig mit Ökostrom

*Fotovoltaik und Sonnenkollektoren: Die Eawag setzt auf erneuerbare Energien.*

des Labels Naturemade Star. Die Kriterien des Schweizer Labels basieren im Bereich Wasserkraft auf Forschung der Eawag. Der Ökostrom stammt zu 97,5 Prozent aus den zertifizierten Wasserkraftwerken in Aarberg und Niederried-Radelfingen und zu 2,5 Prozent aus dem zertifizierten Windpark auf dem Mont Crosin im Jura.

Ab 2012 deckt auch der Standort Kastanienbaum seinen Stromverbrauch mit Naturemade-Star-Strom. Weiter soll die Fotovoltaik-Produktion der ganzen Eawag von 0,25 auf 0,5 Terajoule ausgebaut werden. Zusammen mit der Empa investiert die Eawag zudem auch bei der Wärme- und Kälteproduktion in erneuerbare Energien. So planen die beiden Institutionen in den kommenden Jahren eine Altholz-Vergasungs- und Verstromungsanlage. Auch mit umweltschonenden Angeboten im Bereich des Mobilitätsmanagements und einer Partnerschaft mit der Online-Plattform für umweltbewusste Unternehmen $CO_2$-Monitor engagiert sich die Eawag für mehr Nachhaltigkeit.

Weitere Informationen:
www.eawag.ch/about/nachhaltig

## Chancengleichheit

### Erfolgreiches Mentoring-Programm

Die Eawag setzt sich für die Chancengleichheit und die Vereinbarkeit von Familie und Beruf für alle Mitarbeitenden ein. So unterstützt sie die auf dem Gelände der Empa und Eawag liegende Kinderkrippe finanziell und administrativ. Sie ermöglicht Teilzeitanstellungen für Mitarbeitende auf allen Stufen und fördert die Anstellung von Frauen in Führungspositionen. 2011 endete ein erfolgreiches Mentoring-Programm für Postdoktorandinnen. Die Mentees gaben sehr positive Rückmeldungen und empfahlen, ein solches Programm auch für Doktorandinnen anzubieten. Bei zukünftigen Mentoring-Programmen will die Eawag mit anderen Institutionen, allen voran dem Career Center der ETH Zürich, zusammenarbeiten.

Der Vorsitz des Komitees für Chancengleichheit hat im Jahr 2011 gewechselt. Die bisherige Vorsitzende

*In der Kinderkrippe von Empa und Eawag legt man Wert auf Bewegung und Spiel im Freien.*

Isabel Perego hat ihre Stelle an der Eawag aufgegeben. Neu leitet die Postdoktorandin Alexandra Kroll das Komitee für Chancengleichheit.

### Mehr weibliche Führungskräfte

Der Personalbestand der Eawag hat im Vergleich zum Vorjahr im wissenschaftlichen und administrativen Bereich leicht zugenommen. Insgesamt erhöhte sich die Zahl der Mitarbeitenden um 17 Personen (plus 3,8 Prozent) respektive 11,6 Vollzeitäquivalente (plus 1,2 Prozent). Die Zunahme erfolgte überwiegend durch Frauen. Dabei hat sich die Verteilung der Geschlechter mit 49 Prozent Frauen und 51 Prozent Männern nur unwesentlich verändert. Der durchschnittliche Beschäftigungsgrad hat dabei leicht zugenommen. In Bezug auf Kaderpositionen steigert die Eawag den bereits hohen Anteil an Frauen weiter. So ist bei den weiblichen Führungskräften ein Anstieg von 22,2 auf 23,8 Prozent zu verzeichnen. Diese Entwicklung ist in erster Linie auf Pensionierungen bei männlichen Mitarbeitenden in diesen Funktionsstufen zurückzuführen.

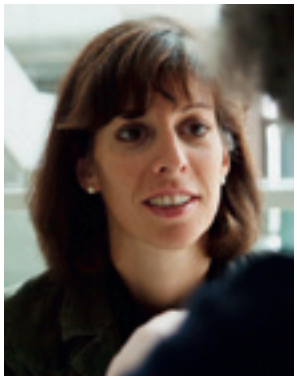
## Gleichbehandlung bei den Löhnen

Die Lohnentwicklung zeigt erneut stagnierende Mediansaläre im wissenschaftlichen Bereich bei den Männern und einen Anstieg bei den Frauen. Bei den administrativen Mitarbeitenden liegen die Mediansaläre höher als im Vorjahr; dies korreliert mit der Übernahme der langjährigen Mitarbeitenden von PSI und WSL in die gemeinsame Bibliothek Lib4RI. Im Einzelnen betrachtet gibt es bei gleicher Funktion und gleicher Anzahl von Erfahrungsjahren zwischen Frauen und Männern keine Unterschiede in der Entlöhnung.

# Personelles

## Zwei neue Professorinnen

Im Jahr 2011 konnten zwei junge Nachwuchsforscherinnen für Professuren gewonnen werden. Karin Ingold ist seit August 2011 als Assistenzprofessorin für Policy Analysis mit Schwerpunkt Umweltpolitik tätig. Die Assistenzprofessur mit Tenure Track (Option auf eine unbefristete Professur) wurde am Institut für Politikwissenschaft der Universität Bern neu geschaffen und wird von der Eawag mitfinanziert. Sie dient dem Aufbau eines gemeinsamen Forschungsschwerpunkts und einer gemeinsamen Forschungsgruppe auf dem Gebiet des Managements von Wasserressourcen und der Wasserpolitik. Karin Ingold ist Politikwissenschafterin und beschäftigt sich im Bereich der Wasser-, Energie- und Klimapolitik mit der Analyse von politischen Prozessen und Fragen rund um die Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen. Die Forschungsgruppe Policy Analysis ist an der Universität Bern angesiedelt; ein Teil der Forschung über Water Policy wird zudem an der Eawag in Dübendorf umgesetzt.



*Die neuen Assistenzprofessorinnen der Eawag: Lenny Winkel ( links) und Karin Ingold.*

Mit der Berufung von Lenny Winkel zur Assistenzprofessorin für anorganische Umweltgeochemie im Departement Umweltwissenschaften im Mai 2011 verstärkt die ETH Zürich diesen Forschungsschwerpunkt. Die Förderprofessur ist dem Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik angegliedert und wird aus den Mitteln des Schweizerischen Nationalfonds finanziert. Winkels Forschungsgruppe arbeitet an der Eawag.

## Neuer Leiter der Umweltmikrobiologie

Im Juli 2011 hat Martin Ackermann die Leitung der Abteilung Umweltmikrobiologie von Thomas Egli übernommen. Egli hatte die Abteilung seit 2005 geführt und wird dort weiterhin Forschung betreiben. Ackermann wurde 2008 zum ausserordentlichen Professor für molekulare mikrobielle Ökologie an der ETH Zürich gewählt. Zuvor hatte er ebenfalls an der ETH Zürich eine Förderprofessur für mikrobielle Evolution des Schweizerischen Nationalfonds inne. Er arbeitet seit 2008 an der Eawag.

## Titularprofessur an der Universität Bern

Im Januar 2011 hat die Universität Bern den Eawag-Forscher Bernhard Truffer für seine ausserordentlichen Leistungen die Würde des Titularprofessors verliehen. Truffer ist seit 1996 an der Eawag und seit 2006 Leiter der Abteilung Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung. Zuvor war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Fribourg und als Dozent unter anderem an der ETH Zürich tätig. Ab 2002 hatte er Lehraufträge an der Universität Bern und habilitierte sich dort 2006 für das Lehrgebiet Wirtschaftsgeografie und nachhaltige Entwicklung.

## 38 Jahre Einsatz für die Lernenden

Über 38 Jahre prägte Max Reutlinger als Verantwortlicher für die Berufsbildung das Ausbildungswesen an der Eawag massgeblich. Am 1. Juli ist er pensioniert worden. Er war verantwortlich für die Ausbildung der angehenden Chemie- und Biologielaborantinnen und -laboranten, kaufmännischen Angestellten oder Informatikerinnen und Informatiker. Die Zahl der Lernenden an der Eawag ist seit seinem Eintritt 1972 von 2 auf heute 26 gewachsen. Samuel Derrer als neuer Leiter und eine grosse Zahl weiterer engagierter Mitarbeitender haben 2011 9 Lernende zum Lehrabschluss begleitet. Diese haben alle ihr Qualifikationsverfahren erfolgreich bestanden und auch einen Arbeits- oder weiterführenden Ausbildungsplatz gefunden.

## Willi Gujer emeritiert

Willi Gujer hat als Professor für Siedlungswasserwirtschaft der ETH Zürich und als Forscher an der Eawag die Siedlungswasserwirtschaft in der Schweiz und weltweit nachhaltig geprägt. Nach 37 Jahren Tätigkeit an der Eawag ist er 2011 in den Ruhestand getreten. Er gilt als unermüdlicher Brückenbauer zwischen Forschung und Praxis und als begabter Lehrer. Dies dankten ihm die Studierenden der ETH Zürich mit dem Credit Suisse Award for Best Teaching und der Goldenen Eule der ETH Zürich. Willi Gujer zu Ehren fand im Oktober 2011 ein Symposium mit dem Titel «Über den praktischen

*Willi Gujer war ein unermüdlicher Brückenbauer und engagierter Lehrer.*

Nutzen einer guten Theorie» an der Empa-Akademie statt. Die Nachfolge von Gujer an der ETH Zürich hat Eberhard Morgenroth angetreten, der ausserdem seit 2012 Leiter der Abteilung Verfahrenstechnik an der Eawag ist.

## Neue Mitglieder in der Beratenden Kommission

2011 sind Peter Hunziker, Felix von Sury und Thomas Weibel in die Beratende Kommission der Eawag eingetreten. Jürg Meyer, Mitglied des Vereins der Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), ist 2011 aus der Beratenden Kommission ausgetreten. Seine Nachfolge übernimmt Peter Hunziker, Geschäftsführer des Ingenieurbüros Hunziker Betatech AG und Mitglied des Präsidiums des VSA. Felix von Sury der Firma Von Sury Consultants folgt auf Peter Arbenz, den Präsidenten der Entwicklungsorganisation Helvetas. Thomas Weibel ist Dozent für Ingenieurbiologie an der Fachhochschule Wädenswil und Nationalrat der Grünliberalen Partei.

# ETH-Bereich

## Enge Zusammenarbeit

Die Eawag arbeitet auf der Ebene von Forschung und Lehre eng mit den Institutionen des ETH-Bereichs zusammen. So hat sie in der Bioinformatik und Mikroskopie die Zusammenarbeit mit der ETH Zürich gesucht, indem sie gemeinsam mit ihr je eine Stelle im Laboratorium für Ionenstrahlphysik der ETHZ und im Functional Genomics Center der ETHZ und der Universität Zürich finanziert. So kann die Eawag auf Know-how in der an Wichtigkeit gewinnenden Bioinformatik zugreifen und hat Zugang zu wichtigen Ressourcen im Bereich Mikroskopie. Aber nicht nur in der Forschung, auch bei der Infrastruktur, Administration und Informatik wird laufend nach Synergien und Kooperationsmöglichkeiten gesucht. So sind seit 2011 die Bibliotheken der vier Forschungsanstalten des ETH-Bereichs (Eawag, Empa, PSI und WSL) unter dem Namen Lib4RI vereint. Die Forschenden der vier Institutionen profitieren vom gebündelten Wissen der Bibliotheksfachleute unter einer Führung sowie von einem ausgeweiteten Angebot. Eine neu eingerichtete gemeinsame Bibliothekswebsite erleichtert die Literaturrecherche und bietet umfangreiche Informationen.

## Gemeinsame Lösungen

Ebenso erfolgreich gestaltet sich die Zusammenarbeit der vier Forschungsanstalten bei der gemeinsamen Einführung des Finanzsystems SAP. Durch die gemeinsame Beschaffung konnten sie Ressourcen einsparen und gewinnen gleichzeitig ein leistungsstarkes Datenverarbeitungssystem. Durch die effiziente Zusammenarbeit der vier Institutionen konnte SAP termingerecht am 1. Januar 2012 in allen Forschungsanstalten in Betrieb genommen werden.

Aufgrund der räumlichen Nähe bietet sich für die Eawag vor allem die Empa für die Zusammenarbeit auch in kleinerem Ausmass an. So haben die beiden Forschungsanstalten auf 2011 ihre Stellen für Wissens- und Technologietransfer zusammengelegt. Diese Entscheidung hat sich als richtig erwiesen, denn heute profitieren beide Seiten vom gebündelten Know-how und der Beratung unter der Führung der Empa. Auch die Informatikdienste von Empa und Eawag haben ihre Zusammenarbeit intensiviert. Im Herbst 2011 nahmen sie im Bereich Datensicherung eine gemeinsame Lösung für die Datenspeicherung und den Back-up in Betrieb. Die Anlage bringt zudem höhere Geschwindigkeit und mehr Sicherheit beim Datentransfer. Weitere gemeinsame Projekte bestehen bei der Telefonie und der Netzwerksicherheit.

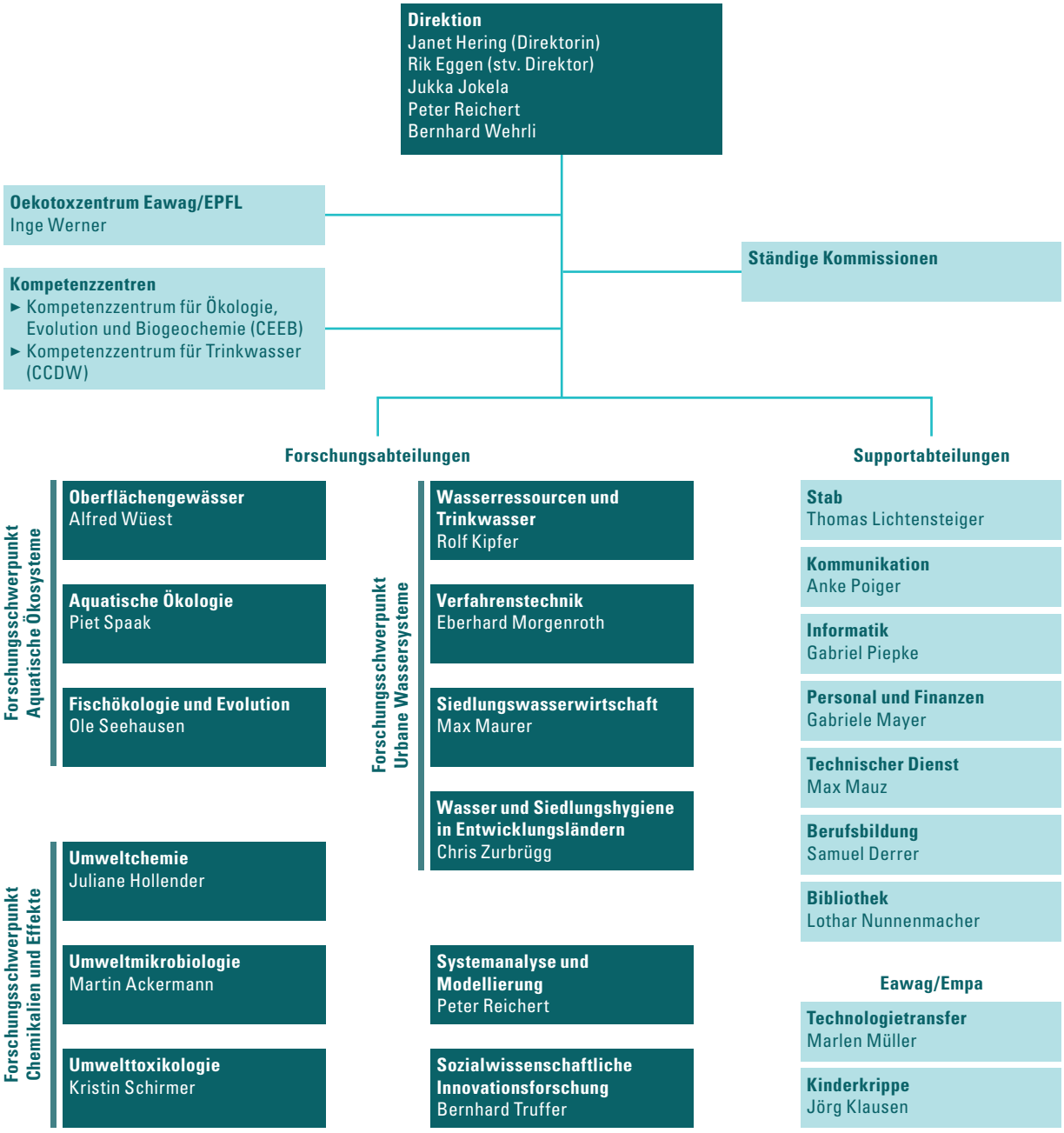
## Versuchswerkstatt an neuem Ort

Seit 1997 war die Versuchswerkstatt der Eawag im Nordostgebäude der Empa untergebracht, die diese Räumlichkeiten nun anderweitig nutzen möchte. Idealerweise konnte die Eawag-Werkstatt neu in der Metallhalle der Empa untergebracht werden. Dies bedeutet zwar einen

*Die Eawag-Werkstatt ist seit Mitte 2011 in enger Nachbarschaft zur Empa-Werkstatt untergebracht.*

Verlust an Arbeitsfläche, ermöglicht aber durch die unmittelbare Nachbarschaft zur Empa-Werkstatt die gemeinsame Nutzung von Maschinen und Lagerräumen, gegenseitige Hilfestellungen sowie den fachlichen Austausch zwischen den Werkstattteams.

# Organisation




## Beratende Kommission

**Ursula Brunner** (Präsidentin), Ettler Suter Rechtsanwälte, Zürich
**Peter Arbenz** (bis Dezember 2011), Präsident Helvetas
**Claus Conzelmann,** Vizedirektor Arbeitssicherheit, Gesundheitsschutz, Umwelt und Nachhaltigkeit, Nestlé Suisse S.A, Vevey
**Günter Fritz,** Leiter Umwelt, Gesundheit und Sicherheit, BASF Schweiz AG
**Urs Gantner,** Leiter Fachbereich Forschung und Beratung, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern
**Heinz Habegger,** Vorsteher Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern
**Peter Hunziker** (seit Dezember 2011), Geschäftsführer Hunziker Betatech, Winterthur
**Jürg Meyer** (bis Dezember 2011), Direktor Infrastruktur-Services, ISS Schweiz AG, Zürich
**Stephan R. Müller,** Abteilungsleiter Wasser, Bundesamt für Umwelt, Bern
**Reto Schneider,** Leiter Emerging Risk Management, Swiss Re, Zürich
**Felix von Sury** (seit Dezember 2011), Consultant Von Sury Consulting, Solothurn
**Thomas Weibel** (seit Dezember 2011), Nationalrat, Grünliberale Kanton Zürich

# Personen

| Personal | Personen insgesamt | Frauen | Ausländer/innen | Vollzeitäquivalent |
|---|---|---|---|---|
| Ordentliche Professorinnen und Professoren [1] | 9 | 1 | 3 | 9 |
| Assistenz- und Titularprofessorinnen und -professoren | 14 | 3 | 4 | 14 |
| Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau) | 162 | 66 | 82 | 150 |
| Doktorandinnen und Doktoranden | 105 | 51 | 69 | 103 |
| Technisches Personal | 92 | 42 | 12 | 76 |
| Administratives Personal | 70 | 59 | 8 | 50 |
| Lernende | 23 | 8 | 3 | 23 |
| **Total** | **475** | **230** | **181** | **425** |
| Mitarbeitende Eawag-Empa-Kinderkrippe | 15 | 14 | 1 | 13 |
| Praktikantinnen und Praktikanten [2] | 39 | 20 | 26 | 39 |

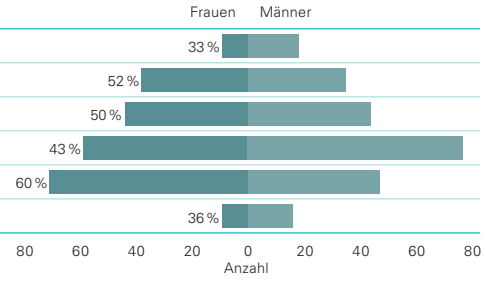
[1] 8 davon sind nicht oder nicht direkt von der Eawag angestellt

[2] Unterschiedlich lange Anstellungsdauern, Anzahl insgesamt in 2011

| Beschäftigungsgrad | Frauen | Männer | Total |
|---|---|---|---|
| 1–49 % | 14 | 9 | 23 |
| 50–79 % | 45 | 9 | 54 |
| 80–99 % | 39 | 23 | 62 |
| 100 % | 132 | 196 | 328 |
| **Total** | **230** | **237** | **467** |

| Herkunft | Frauen | Männer | Total |
|---|---|---|---|
| Schweiz | 138 | 150 | 288 |
| EU-Länder | 71 | 65 | 136 |
| Übriges Ausland | 21 | 22 | 43 |
| **Total** | **230** | **237** | **467** |

| Altersstruktur | Frauen | Männer | Total |
|---|---|---|---|
| 60–65 | 9 | 18 | 27 |
| 50–59 | 38 | 35 | 73 |
| 40–49 | 44 | 44 | 88 |
| 30–39 | 59 | 77 | 136 |
| 20–29 | 71 | 47 | 118 |
| 15–19 | 9 | 16 | 25 |
| **Total** | **230** | **237** | **467** |
| | (49,3 %) | | |




| Lernende | Frauen | Männer | Total |
|---|---|---|---|
| Biologielaborant/in | 1 | 2 | 3 |
| Chemielaborant/in | 5 | 10 | 15 |
| Informatiker/in | 0 | 2 | 2 |
| Kauffrau/Kaufmann | 2 | 1 | 3 |
| **Total** | **8** | **15** | **23** |

# Aktivitäten

| | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|---|---|---|
| Betreute Dissertationen | 111 | 153 | 160 |
| Betreute Bachelor- und Masterarbeiten | 109 | 142 | 145 |
| Publikationen in referierten Zeitschriften | 232 | 259 | 268 |
| Publikationen in nicht referierten Zeitschriften | 114 | 72 | 106 |
| Spin-offs | – | – | – |
| Patente, Lizenzverträge | – | – | – |
| Dienstleistungsaufträge | 24 | 35 | 35 |
| Preise | 19 | 26 | 10 |
| Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL | 82 | 95 | 77 |
| Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen | 41 | 24 | 34 |
| Lehrveranstaltungen Fachhochschulen | 6 | 0 | 1 |
| Peak-Kurse (Weiterbildung) | 5 | 6 | 5 |
| Fachtagungen | 53 | 54 | 44 |
| Mitarbeit in Kommissionen | 184 | 190 | 276 |

Detailliertere Angaben unter *www.eawag.ch/jahresbericht*

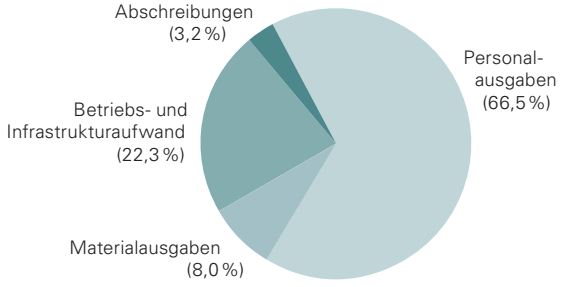
# Finanzen

| Erfolgsrechnung | 2009 | 2010 | 2011 |
|---|---|---|---|
| Personal | 39 278 708 | 41 923 339 | 44 425 613 |
| Material | 11 426 136 | 2 990 640 | 5 347 807 |
| Betriebs- und Infrastrukturaufwand | 14 011 009 | 14 920 290 | 14 856 606 |
| Abschreibungen | 1 896 647 | 2 109 090 | 2 110 493 |
| Rückstellungen | 1 001 944 | –210 058 | –140 318 |
| **Aufwand** | **67 614 444** | **61 733 302** | **66 600 200** |
| Bundesbeitrag | 47 596 574 | 54 239 254 | 55 251 566 |
| Drittmittel (inkl. Bestandesveränderungen) | 11 068 789 | 14 246 016 | 14 274 585 |
| Diverse Erlöse | 1 238 918 | 1 717 018 | 2 127 238 |
| **Ertrag** | **59 904 281** | **70 202 289** | **71 653 389** |
| **Ergebnis** | **– 7 710 163** | **8 468 987** | **5 053 189** |

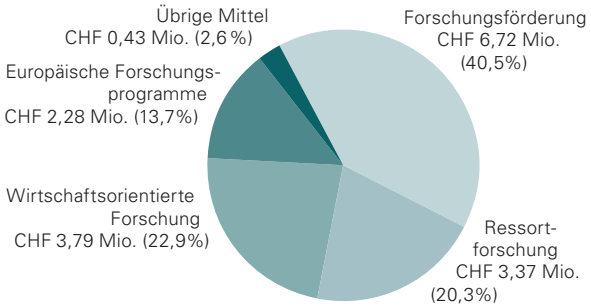
| Investitionen | 10 786 584 | 6 181 458 | 5 030 479 |
|---|---|---|---|
| Immobilien | 8 462 580 | 3 121 000 | 2 723 000 |
| Mobilien | 1 953 614 | 3 006 300 | 1 820 471 |
| Informatik | 370 390 | 54 158 | 487 008 |

alle Zahlen in CHF

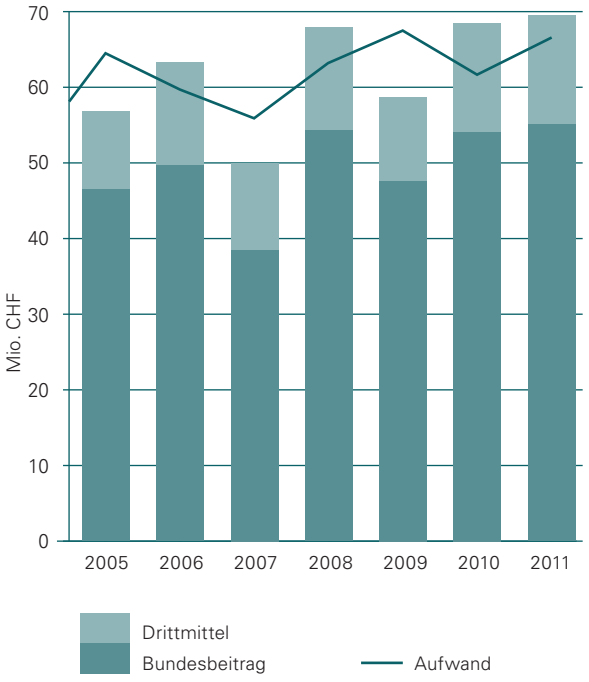
**Ausgabenverteilung 2011**

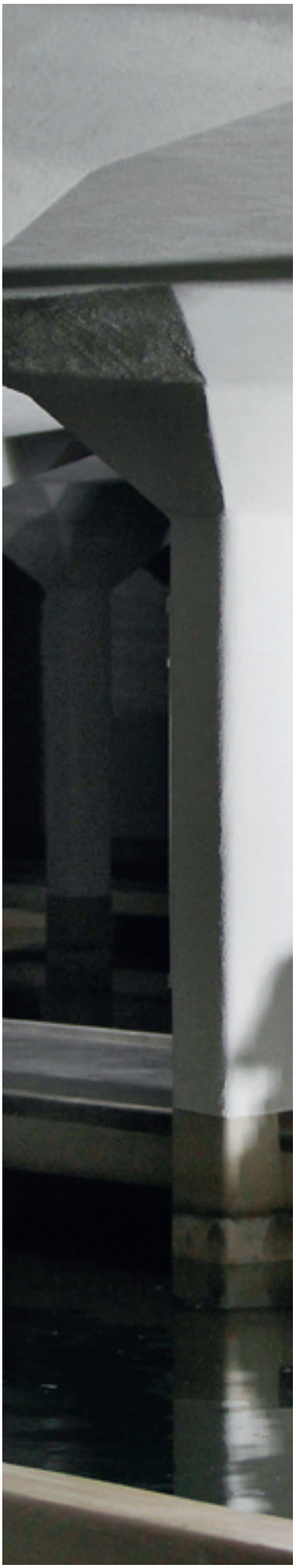



**Drittmittel 2011**




**Entwicklung 2005–2011**





Der Jahresbericht 2011 zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus Forschung, Lehre und Beratung an der Eawag. Unter www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html finden Sie alle Eawag-Publikationen samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel. Darin enthaltene «open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden. Bei Problemen: info@lib4ri.ch

Der Jahresbericht ist auch in Englisch erhältlich.

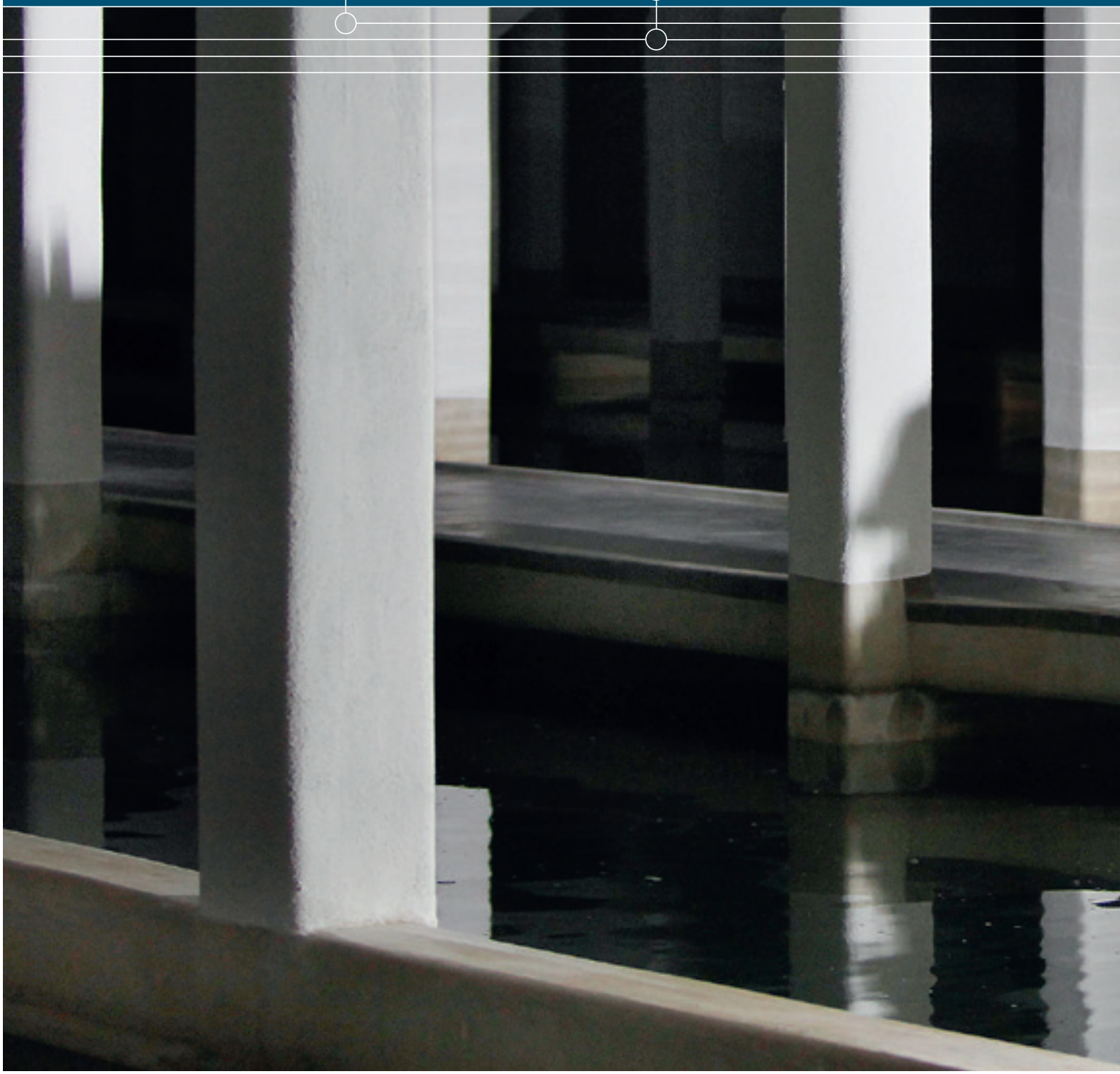
*Impressum*

**Redaktion:** Andres Jordi | **Mitarbeit:** Fabio Bergamin, Atlant Bieri, Andri Bryner, Herbert Güttinger, Thomas Lichtensteiger, Beatrix Mühlethaler, Anke Poiger, Annette Ryser, Anke Schäfer, Evelin Vogler, Felix Würsten | **Übersetzungen:** Jeff Acheson, Bottmingen | **Gestaltung:** TBS Identity, Zürich | **Layout:** SLS Nadler, Fällanden | **Druck:** Mattenbach AG, Winterthur |
**Copyright:** Eawag, April 2012. Abdruck mit Quellenangabe erwünscht: «Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2011».
Belegexemplare an: Eawag, Kommunikation, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz

Eawag, Überlandstrasse 133, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Telefon +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28
Eawag, Seestrasse 79, 6047 Kastanienbaum, Telefon +41 (0)58 765 21 11, Fax +41 (0)58 765 21 68
www.eawag.ch

*Bildnachweis*

**Titelbild:** Gesa Lüchinger | **Seite 1:** *1* Selina Derksen, *2* Matthias Burri, *3* Frank Bonell, *4* ETH Zürich | **Seite 2:** Eawag | **Seite 4:** *1* Yvonne Lehnhard | **Seite 5:** *2, 3, 5* Esther Ramseier; *4* Hanna Berger, *6* Peter Penicka | **Seite 6:** *7* International Water Association | **Seite 7:** *8* Raoul Schaffner, *9* Oliver Bartenschlager, *10* Peter Penicka, *11* Eawag, *12* Anke Poiger | **Seite 8:** Olaf Cirpka | **Seite 9:** *links oben* Cathrine Wagner, *links unten* Raoul Schaffner, *rechts* Susi Lindig | **Seite 10:** Hansruedi Bürgi | **Seite 11:** Maria Alp | **Seite 12:** Philipp Dubs | **Seite 13:** *links* O.A. Sherwood, Memorial University of Newfoundland, Canada; *rechts* Andri Bryner | **Seite 14:** Olaf Cirpka | **Seite 15:** Maria Alp | **Seite 16:** Selina Derksen | **Seite 17:** Maryna Peter-Verbanets | **Seite 18:** Christian Binz | **Seite 19:** Gesa Lüchinger | **Seite 20–21:** Peter Schönenberger | **Seite 22:** Agilent Technologies Inc. | **Seite 23:** Ruedi Keller | **Seite 24–25:** *1, 5* Andri Bryner; *2, 3, 4, 6, 7, 8* Stefan Kubli | **Seite 26:** Stefan Kubli | **Seite 27:** *links oben* Anke Schäfer, *links unten* Martina Bauchrowitz, *rechts* Andres Jordi | **Seite 28:** Eawag | **Seite 29:** *links* Eawag, *rechts* Yvonne Lehnhard | **Seite 30:** *links* Okapia, *rechts* Eawag | **Seite 31:** *links* Nina Küng, *rechts* Matthias Burri | **Seite 32–33:** zvg | **Seite 34:** Max Maurer | **Seite 35:** *links oben* Peter Penicka, *links unten* zvg, *rechts* Martina Bauchrowitz | **Seite 36–37:** Andri Bryner | **Seite 38:** plainpicture | **Seite 39:** Frank Bonell | **Seite 40:** Alfred Wüest | **Seite 41:** Repower | **Seite 42–43:** Gesa Lüchinger | **Seite 44:** Andres Jordi | **Seite 45:** Esther Ramseier | **Seite 46:** *links oben* ETH Zürich, *rechts unten* Tom Kawara | **Seite 47:** *links unten* Stefan Kubli, *rechts oben* Yvonne Lehnhard | **Seite 48:** Peter Penicka | **Seite 49:** *links oben* Tom Kawara, *rechts unten* Peter Penicka

eawag
aquatic research

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