

# Jahresbericht 2005





Die Eawag ist eine der vier selbstständigen Forschungsinstitutionen des ETH-Bereichs. Sie 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 NGOs 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 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig in Forschung, Lehre und Beratung. Seit 1936 stand «EAWAG» als Abkürzung für «Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz». Heute wird diese schwerfällige Bezeichnung den komplexen Fragestellungen rund um das Wasser nicht mehr gerecht. Für das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs ist Eawag daher zum Eigennamen geworden.

#### Titelbild

Forschen im revitalisierten Abschnitt der Thur zwischen Niederneunforn und Altikon. Die Aufweitung des kanalisiertes Flussbetts hat nicht nur die Vernetzung mit dem Auenwald im «Schäffäuli» verbessert, sondern auch in der Thur selbst mehr und verschiedenartige Lebensräume geschaffen als zuvor. Gleichzeitig konnte der Hochwasserschutz verbessert werden. Im transdisziplinären Projekt «Rhone-Thur» hat die Eawag Werkzeuge erarbeitet für einen solchen nachhaltigen Umgang mit Fließgewässern. Bild: Andri Bryner. Artikel: Seiten 6–11.

# Inhalt

2 Wort des Direktors

## **4–23 Aquatische Ökosysteme**

- 4 Wasser als Lebensraum und Ressource
- 7 Rhone-Thur-Projekt: Alles im Fluss – aber bitte nachhaltig
- 13 Lokale Evolution bestimmt kontinentale Biodiversität
- 16 Dem Felchenfangrückgang im Brienersee auf der Spur
- 18 Flusssynamik: Leben und Sterben von Kaulquappen
- 19 Methan aus dem Meer gelangt grösstenteils nicht in die Atmosphäre
- 20 Retentionsweiher reinigen Drainagewasser aus der Landwirtschaft
- 21 Die Wiederentdeckung des Edelfisches im Vierwaldstättersee
- 22 Temperaturmonitoring: Wo es den Forellen am wohlsten ist
- 23 Wasserflöhe: Parasiten haben Einfluss auf die Artenvielfalt

## **24–37 Siedlungswasserwirtschaft**

- 24 Wasser im Siedlungsgebiet
- 27 Systematisch über die Zukunft der Siedlungswasserwirtschaft nachdenken
- 30 Optimiertes Wassermanagement in der weltweiten Nahrungsmittelproduktion
- 31 Nanoteilchen: Je kleiner, desto häufiger
- 32 Wasser in Kunming: Innovation gefragt
- 33 Die Kläranlage im Keller
- 34 Dem lästigen Schaum in Kläranlagen zu Leibe rücken
- 35 Kompostieren stärkt Nachhaltigkeit
- 36 Sodis: So einfach und doch kein Selbstläufer
- 37 Sodis: Tödlicher Sonnenbrand für Bakterien

## **38–53 Chemikalien und Effekte**

- 38 Stoffe im Wasser
- 41 Die interne Dosis bestimmt die Wirkung
- 44 Herbizide in den Bächen: Kleine Flächen – grosse Wirkung
- 45 Arsen und die Bewässerung der Reisfelder in Bangladesch
- 46 Pestizidrückstände mit Hilfe von Bakterien abbauen
- 47 Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattales
- 48 Wie weit kommen die Schadstoffe?
- 49 Strassenbankett dokumentiert Verkehrsemissionen
- 50 Versenkte Munition: Zündstoff im Zürichsee
- 51 Mit Hilfe von Proteinen auf Stress schliessen
- 52 Umweltanalytik – Ein Dritteljahrhundert zwischen Herkules und Sisyphus

- 55 Die Eawag durch das Jahr 2005
- 61 Umweltmanagement ist Alltag
- 62 Organisation
- 64 Finanzen
- 65 Personen
- 66 Aktivitäten

# Neue Ansätze für das Wasser



**Die ursprünglich sektoriell betriebene Wasserwirtschaft orientiert sich zunehmend an ganzheitlichen Betrachtungsweisen. Die Eawag prägt diese Entwicklung mit wissenschaftlich fundierten Unterlagen. Auch 2005 passten wir unsere Tätigkeiten und Strukturen den sich wandelnden Herausforderungen an. Und mit dem Neubau Forum Chriesbach setzen wir im eigenen Haus wichtige Postulate für nachhaltige Infrastrukturen um.** Ueli Bundi

Im April 2005 erhielt die Eawag an der Weltausstellung in Aichi/Japan den renommierten Energy-Globe-Umweltpreis überreicht. Das ist eine hohe Anerkennung für unsere Leistungen zur Entwicklung und Verbreitung des Sodis-Verfahrens für solare Trinkwasseraufbereitung, und der Preis bildet die Spitze des Eisberges von Wissen und Problemlösungen, der an der Eawag über viele Jahre gewachsen ist.

## Vision ist Realität geworden

Schon vor über 20 Jahren hat die Eawag dargelegt, dass der Mensch globale geophysikalische und -chemische Experimente eingeleitet hat, die unabsehbare Auswirkungen auf Atmosphäre, Land und Wasser haben können. Diese Vision ist eindrücklich zur Realität geworden. Der menschliche Einfluss auf den Klimawandel sowie dessen Folgen auf Naturkatastrophen und für die Wasserwirtschaft sind heute anerkannt. Hinzugekommen ist eine verstärkte Wahrnehmung der mit Wassermangel und verunreinigtem Wasser verbundenen existenziellen Probleme von Milliarden Menschen.

Praxis und Wissenschaft verstehen die Wasserwirtschaft heute als integral anzugehende Problematik. Es gilt, die verschiedenen Funktionen des Wassers für die Gesundheit der Menschen, die Nahrungsmittelproduktion, die Energieproduktion und die Ökosysteme gleichzeitig zu

sichern und Interessenskonflikte unter Einbezug der Akteure und Betroffenen zu bewältigen. Dafür entwickelt die Eawag Methoden, Technologien und Konzepte, die nachhaltig wirksam sind. Die Brückenfunktion zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen und ihrer Anwendung zum Lösen von Wasserproblemen ist die eigentliche *raison d'être* der Eawag.

In der Verbindung von grundlagenorientierter Forschung, Technologie-Entwicklung und Problemlösung übt die Eawag seit Jahren eine Pionierrolle aus. Das erfordert laufend Anpassungen unserer Forschungsausrichtung – ein Beispiel dafür ist der Aufbau sozialwissenschaftlicher Kompetenzen. Denn Lösungen für Wasserprobleme, auch wenn sie aus natur- und ingenieurwissenschaftlicher Sicht noch so gut erscheinen, sind oft zum Scheitern verurteilt, weil sie aus ökonomischen, sozialen, kulturellen oder politischen Gründen nicht umsetzbar sind. Unsere Kultur, neue Herausforderungen wissenschaftlich fundiert anzugehen, hat der Eawag international einen Spitzenplatz in der Wasserforschung verschafft. Das wurde im April 2006 von einer unabhängigen wissenschaftlichen Benchmarking-Studie erneut bestätigt.

## Flexibel bleiben

Umstrukturiert oder durch Zusammenlegung neu gebildet wurden 2005 die Abteilungen für Umwelt-Chemie (Leitung Juliane Hollender), Umwelt-Toxikologie (Rik Eggen) und Umwelt-Mikrobiologie (Thomas Egli), ausserdem per Januar 2006 die Abteilungen Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung (Bernhard Truffer) sowie Oberflächengewässer (Alfred Wüest). Viele Mitarbeitende haben diese anspruchsvollen Änderungen mitgetragen, und dafür bin ich ihnen zu grossem Dank verpflichtet.

Per April 2005 wurde die Direktion um drei Mitglieder erweitert. Das Gremium hatte sich seit 2000 infolge von Abgängen von sieben auf drei Mitglieder verkleinert. Die Neuen sind Rik Eggen, Peter Reichert und Bernhard Wehrli. Ihnen wie auch Willi Gujer, Roland Schertenleib und Stabschef Peter Häni bin ich ausserordentlich dankbar für die immer konstruktive Zusammenarbeit in der Direktion.

### **Grosses Engagement**

Danken möchte ich auch dem ETH-Rat und seinem Stab, die uns immer wohlwollend unterstützen. Die Beratende Kommission begleitet die Eawag mit wertvollen Ratsschlägen und schafft wichtige Beziehungen zu unserem Umfeld. Der Kommission neu beigetreten ist Jürg Meyer, Präsident des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute. Neu formiert hat sich auch die Personalvertretung. Sie leistet wichtige Beiträge für die Eawag und ihre Mitarbeitenden.

Mit Walter Giger hat ein äusserst profilierter Mitarbeiter die Eawag altershalber verlassen. In über 30 Jahren hat er die Entwicklung der organischen Umweltchemie nicht nur an der Eawag, sondern auch international massgeblich geprägt. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern spreche ich meinen Dank aus für ihr grosses Engagement für die Eawag und unser gemeinsames Anliegen – die Forschung und das Eintreten für das Wasser.

Das Jahr 2006 wird äusserlich geprägt durch den Bezug unseres zukunftsweisenden Neubaus Forum Chriesbach. Damit findet auch eine Ära unseres Personalrestaurants ein Ende. Es wurde über 24 Jahre von einer Interessengemeinschaft der Mitarbeitenden getragen. Den Angestellten der «IG Cafeteria» danke ich für ihre hervorragende Betreuung von uns Gästen und wünsche ihnen eine erfreuliche Fortsetzung ihrer Tätigkeit bei der neuen Betreiberin des Personalrestaurants. Die Vorstandsmitglieder der IG verdienen unsere Anerkennung für ihren Einsatz für diese einzigartige Organisation, die so sehr den an der Eawag herrschenden Geist verkörpert. ○ ○ ○

**In der Verbindung von  
grundlagenorientierter  
Forschung, Technologie-  
Entwicklung und  
Problemlösung übt die  
Eawag seit vielen Jahren  
eine Pionierrolle aus.**



# Wasser

## Aquatische Ökosysteme

# Lebe

**In diesem Handlungsfeld legt die Eawag den Fokus auf ein nachhaltiges Management aquatischer Ökosysteme. Im Zentrum stehen die Wiederherstellung naturnaher Lebensräume sowie Fragestellungen rund um die Erhaltung der biologischen Vielfalt unserer Gewässer. Nur wenn wir erklären können, warum und wie Arten entstehen und verschwinden, lassen sich Wege finden, unwiederbringliche Verluste genetischer Ressourcen zu mindern.**

Weltweit wächst die Erkenntnis, dass intakte Gewässer nicht nur für die Erhaltung der biologischen Vielfalt wichtig sind, sondern auch den Menschen nützen. Die langfristige Sicherung von Wasserressourcen und Wassernutzungen sowie ein integraler Hochwasserschutz sind Stichworte dazu. In der EU fordert die Wasserrahmenrichtlinie für die kommenden Jahre die Erreichung eines «guten ökologischen Zustands» der Oberflächengewässer. Das erfordert zumeist deren Sanierung. Ähnliche Ziele setzt die Weltnaturschutzunion IUCN mit ihrem 5-Jahres-Aktionsplan unter dem Motto «gesunde Flüsse für gesunde Gemeinden». Sie trägt damit auch dem Ziel der Uno-Dekade «Water for Life» (2005–2015) Rechnung.

### **Nachhaltiges Wassermanagement**

Die Eawag erarbeitet Grundlagen für ein nachhaltiges Wasser- und Gewässermanagement. Sie berücksichtigt in ihrer Forschung die menschlichen Einflüsse auf Menge, Qualität und Ökologie von Wasservorkommen, aber auch Zusammenhänge mit Klimaänderungen. Mehrere Eawag-

Projekte sollen direkt in den Lehr- und Forschungseinheiten des neuen Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) im ETH-Bereich verankert werden. Wie im Beitrag zum Rhone-Thur-Projekt aufgezeigt, wurden aber auch über den ETH-Bereich hinaus Partnerschaften aufgebaut, so zu Universitäten oder Verwaltungsstellen. Das Rhone-Thur-Projekt ist zudem ein gutes Beispiel, wie die Eawag-Forschung innovative Ansätze für die Praxis liefert und gleichzeitig neue Fragen aufdeckt, denen bisher zu wenig Beachtung geschenkt wurde. Ein Folgeprojekt befasst sich daher mit den Auswirkungen der Längs- und Quervernetzung auf die ökologische Integrität von Fließgewässern und erarbeitet Vorschläge, wie wasserbauliche Massnahmen zugunsten der Ökologie optimiert werden können. In alpinen Gewässern sind die Auswirkungen unregelmässiger Wasserabgaben aus Kraftwerken ein Thema. Im urbanen Raum ist noch wenig bekannt, wie sich die immer intensivere Nachtbeleuchtung (Stichwort Lichtverschmutzung) oder die kilometerlangen Eindolungen auf die Lebensgemeinschaften und die Nährstoffdynamik aquatischer Lebensräume auswirken.

# und Re

# als nsraum

## **Leben und Sterben von Arten**

Dass Biodiversität von Ausdehnung, Vernetzung und Qualität der Lebensräume mitbestimmt wird, zeigt exemplarisch der Beitrag vom Wildfluss Tagliamento, dessen Dynamik Jahr für Jahr über Leben und Sterben von Amphibien entscheidet. Ebenso abhängig ist die Artenvielfalt jedoch von genetischen Ressourcen und Umweltbedingungen, welche die Ausbildung neuer Arten im Lauf der Evolution massgebend beeinflussen. Die Abteilungen Gewässerökologie (vormals Limnologie) sowie Fischökologie + Evolution haben ihre Forschung 2005 in dieser Richtung verstärkt. Die Artikel zu den Buntbarschen Afrikas und den Felchen in der Schweiz berichten davon.

## **Schweiz als ideales Freilandlabor**

Eines der grösseren Forschungsvorhaben im Handlungsfeld aquatische Ökologie befasst sich in den nächsten Jahren mit der rapiden, aber kaum dokumentierten Abnahme der Biodiversität in Mitteleuropa. Die Schweiz ist für diese Untersuchung besonders geeignet, da sich vor allem in alpinen und voralpinen Gewässern nach der Eiszeit in kurzer Zeit ein sehr breites Artenspektrum entwickelt hat. Zudem schliessen diese Lebensräume auf engem Raum nicht nur alle vier grossen europäischen Stromsysteme ein (Rhein, Rhone, Po und Donau), sondern weisen auch klimatisch extreme Unterschiede auf von arktisch bis mediterran. Nur wenn sich die Trends und Muster im Arten-

verlust erklären, quantifizieren und modellieren lassen, können Lösungen gefunden werden für ein nachhaltiges Management der Biodiversität – und zwar im Spannungsfeld zwischen globalen Umweltveränderungen und regionalen sozioökonomischen Bedingungen.

## **Neue Staudämme in Afrika**

Einen weiteren Schwerpunkt im Handlungsfeld aquatische Ökologie legt die Eawag auf die Auseinandersetzung mit Auswirkungen grosser Stauhaltungen, namentlich in Schwellen- und Entwicklungsländern. Einerseits geht es um wissenschaftliche Fragestellungen: Welche Mengen an Treibhausgasen werden von neuen Stauseen in den Tropen ausgestossen? Welche Organismen werden beeinträchtigt? Wie werden Sediment- und Nährstoffbilanzen sowie der regionale Wasserkreislauf verändert? Andererseits stehen, beispielsweise im Sambesi-Einzugsgebiet, Fragen nach der Verteilung der knappen Wasserressourcen im Vordergrund – etwa zwischen den Ansprüchen für Bewässerung, Hydroelektrizität oder Naturreservate. Das ist eine grosse Herausforderung in Anbetracht der geringen wissenschaftlichen und institutionellen Infrastruktur in der Region. Hier geht es darum, moderne Techniken wie Fernerkundung oder Modellierung so anzuwenden, dass nicht nur problemorientierte Einsichten gewonnen werden, sondern auch mit lokalen Partnern und Uno-Gremien Forschungs- und Managementkapazität aufgebaut werden kann.



# Alles im FLUSS aber bitte nachhaltig

**Die Hoffnung auf einen absoluten Hochwasserschutz durch Begradigen der Flüsse hat sich als trügerisch erwiesen. Im Rhone-Thur-Projekt wurden Werkzeuge erarbeitet für einen nachhaltigeren Umgang mit Fliessgewässern. Der Einbezug von Betroffenen über die Expertenebene hinaus gehört ebenso dazu wie die Strukturierung von Entscheiden oder ein Modell, das Wirkungen geplanter Massnahmen vorhersagt. Indikatoren weisen den Erfolg von Revitalisierungen für Ökologie und Hochwasserschutz aus. Neue Grundlagen zeigen, wie bisher kaum berücksichtigte Einflüsse wirken, etwa der Schwallbetrieb.**

Armin Peter, Tobias Meile, Peter Reichert, Bernhard Truffer

Nach den Hochwasserereignissen von 1987 und 1993 mit erheblichen Schäden wurde in der Schweiz eine neue Philosophie im Hochwasserschutz eingeleitet. Die Prävention erhielt grösseres Gewicht, Gewässer wurden als Bestandteile von Natur und Landschaft respektiert, und eine Regeneration von Bächen und Flüssen wurde als nötig erachtet. Vor allem sollte den Fliessgewässern mehr Raum zur Verfügung gestellt werden.

## **Praxisbezogene Forschung gefragt**

Spätestens mit der Publikation zur ökomorphologischen Beurteilung der Gewässer im Kanton Zürich [1] wurden die Defizite in der Flussmorphologie klar belegt: 27 % der Gewässer waren eingedolt, weitere 20 % der Fliessgewässer befanden sich in einem stark beeinträchtigten oder naturfernen Zustand. Neue Erhebungen zeigen, dass

im Schweizer Mittelland fast 40 % der Fliessgewässer revitalisiert werden sollten. Lebensraumverbesserungen drängen sich also schon seit Jahren auf.

Damit peilen Hochwasserschutz und Flussrevitalisierungen dasselbe Ziel an: die nachhaltige Entwicklung von Fliessgewässern. Es lag daher nahe, dass die 1999 mit der Reorganisation der Eawag gegründete Abteilung «Angewandte Gewässerökologie» (Apec) hier einen Forschungsschwerpunkt mit starkem Bezug zur Praxis gesetzt hat.

## **Der Einbezug der Thur**

Im Rahmen der dritten Rohnekorrektur sind umfangreiche flussbauliche Massnahmen geplant. Im Juni 2000 fand ein «Kick-off-meeting» statt für ein Begleitprojekt zum Grossvorhaben. Gemeinsam mit ihren Partnern

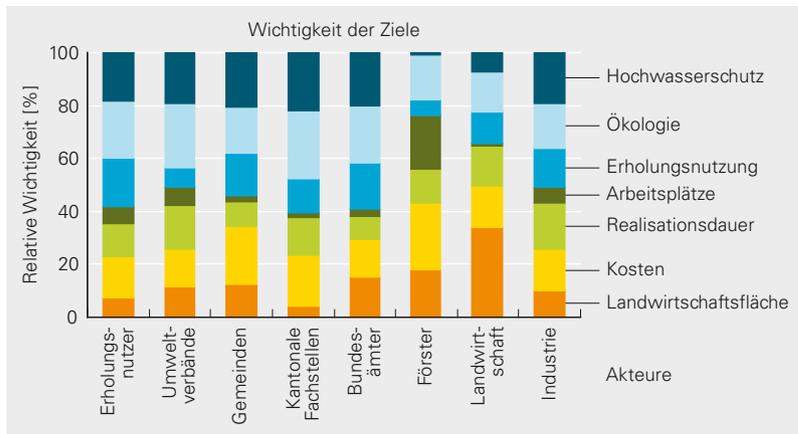


Abb. 1: Verschiedene Akteure und Betroffene beurteilen Ziele eines flussbaulichen Projektes ganz unterschiedlich. Fallbeispiel Thur, Weinfelden–Bürglen [2].

(siehe Kästchen) formulierte die Eawag ein Projekt und unterbreitete es Ende 2000 dem Kanton Wallis sowie den beiden Bundesämtern Buwal und BWG. Im Jahre 2001 startete ein Vorprojekt mit ersten Untersuchungen an der Rhone. Durch die Hochwasserschäden im Jahr 2000 ergaben sich im Wallis jedoch massive Verzögerungen für die vorgesehenen Bauprojekte. Es wurde klar, dass im Projektzeitraum bis Ende 2005 an der Rhone noch keine Aufweitungen gebaut würden. Daher wurde die Thur miteinbezogen. Hier waren mehrere Aufweitungen verwirklicht worden, die erste schon 1991. Eine 1,5 km lange Aufweitung beim «Schäffäuli» zwischen Niederneunforn (TG) und Altikon (ZH) konnte 2002 fertig gestellt werden. Es standen also mehrere Objekte für intensive Untersuchungen zur Verfügung.

Parallel zu den Projektarbeiten an der Rhone begannen flussbauliche Modellierungen der VAW sowie des LCH im Auftrag des BWG. 2002 wurden diese Arbeiten ins Projekt von Eawag, WSL und Partnern integriert – das Rhone-Thur-Projekt mit insgesamt 18 Teilprojekten war geboren.

### Neue Perspektiven dank zielorientierter Bewertung

Wie können Revitalisierungsvarianten so entwickelt, mit den Betroffenen diskutiert und schliesslich umgesetzt werden, dass sie möglichst vielen Interessengruppen Vorteile bringen und lähmende Opposition verhindert wird? Im Rhone-Thur-Projekt wurden dafür verschiedene Instrumente entwickelt. Ein zentrales Element sind entscheidungsunterstützende Verfahren, die es erlauben, alternative Massnahmen einzubeziehen [2].

Eine umfassende Anwendung wurde am Beispiel einer künftigen Revitalisierung der Thur im Abschnitt Weinfelden–Bürglen erprobt. Zuerst wurden hier die wichtigs-

ten Interessengruppen identifiziert, die an den Entscheidungen beteiligt werden sollten. Mit Vertreterinnen und Vertretern dieser Interessengruppen wurden anschliessend Interviews durchgeführt. Die Befragten mussten Ziele angeben, welche ihrer Meinung nach mit einer Revitalisierung der Thur erreicht werden sollten (Abb. 1).

Die Forschenden entwickelten daraufhin ein erstes Set von Revitalisierungsvarianten und schätzten ab, wie sich diese Varianten auf die Ziele auswirken. Als ein Ziel waren z. B. möglichst geringe Kosten genannt. Es galt also, die Kostenfolgen der einzelnen Varianten zu bewerten. Mit anderen Zielen, wie Sicherheit vor Hochwasser, ökologische Funktionsfähigkeit, Zugänglichkeit des Flusses usw., wurde gleich verfahren. Die Daten liessen eine Abschätzung zu, welche der Varianten für die einzelnen Interessengruppen am interessantesten ausfallen müsste. In einer Serie von Workshops wurden nun die Interessengruppen nach ihrer direkten Bewertung der Varianten befragt, und ebenso wurde ihnen das Ergebnis der indirekten Berechnungen vorgestellt. In der Diskussion über die Abweichungen dieser beiden Einschätzungen wurden die Sorgen und Ängste transparent, welche die einzelnen Nutzergruppen mit den jeweiligen Varianten verbanden, und die Vor- und Nachteile dieser Varianten konnten klarer umschrieben werden. Dies erlaubte es, am Ende des gesamten Prozesses ganz neue Varianten zu entwickeln, die von allen Interessenvertretern akzeptiert werden konnten. In ihren Rückmeldungen haben die Beteiligten betont, dass mit Hilfe dieser Methode eine grössere Transparenz, Bewusstheit und letztlich auch mehr Respekt für die unterschiedlichen Positionen erreicht werden konnte.

### Mit Prognosemodellen die Auswirkungen abschätzen

Sollen ökologische und wirtschaftliche Konsequenzen von Revitalisierungsmassnahmen prognostiziert werden, muss man die Mechanismen verstehen, die im System ablaufen. Wie wirken sich die baulichen Randbedingun-

#### Die Projektpartner

Unter dem Titel «Nachhaltiger Umgang mit Fliessgewässern: Beispiel Rhone-Thur» hat die **Eawag** mit folgenden Forschungspartnern zusammengearbeitet: **WSL**, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft; **VAW**, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich; **LCH**, Laboratoire de constructions hydrauliques an der EPF Lausanne.

Im Grossprojekt vertreten waren ausserdem Expertinnen und Experten aus **Bafu**, Bundesamt für Umwelt (zuvor Bundesämter für Wasser und Geologie, **BWG** sowie Buwal); Kantone **Wallis** und **Thurgau**; **Auenberatungsstelle** Yverdon; **Universitäten** Zürich und Neuchâtel.

gen auf Flussbettmorphologie und Flusshydraulik aus? Welche Folgen hat dies für das Fließgewässerökosystem? Wie viel Einfluss haben die Investitionen in Planung und Bau sowie ein verändertes Freizeitverhalten auf die lokale Wirtschaft? Ein Prognosemodell liefert detaillierte Daten zu diesen Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Es besteht aus einzelnen Teilmodellen (Morphologie und Hydraulik, lokale Wirtschaft, terrestrische Fauna, Auenvegetation, Benthos und Fische) und wird als «integratives Flussrevitalisierungsmodell» bezeichnet. Das Modell ist als Wahrscheinlichkeitsnetz umgesetzt und vernetzt wissenschaftliche Informationen aus der Literatur, bestehenden Modellen und Expertenbefragung.

Abbildung 2 zeigt Resultate des Teilmodells Morphologie und Hydraulik auf den Thurabschnitt zwischen Bürglen und Weinfelden [3]. Die zu erwartende Morphologie ist in Funktion der zur Verfügung gestellten Flussbettbreite dargestellt. Die Unsicherheit der verwendeten Beziehungen ist einbezogen, die Resultate werden daher als Wahrscheinlichkeiten dargestellt. Im aktuellen Zustand ist der Fluss aufgrund der Verbauung eingetieft, auf eine Breite von rund 30 m eingeschränkt und weist einen geraden Verlauf auf. Bei einer Verbreiterung auf über 100 m Flussbreite steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich andere Formen ausprägen können. Bei einer grossen Verbreiterung beträgt die Wahrscheinlichkeit für eine Morphologie mit alternierenden Kiesbänken rund zwei Drittel, diejenige für einen verzweigten Verlauf ein Drittel.

### Flussaufweitungen

Eine Aufweitung ist eine lokal begrenzte Verbreiterung, wo sich das Gewässer eigendynamisch entwickeln kann. Bestandesaufnahmen und vergleichende Untersuchungen im Rahmen des Rhone-Thur-Projekts haben für Aufweitungen in folgenden Bereichen positive Auswirkungen dokumentiert:

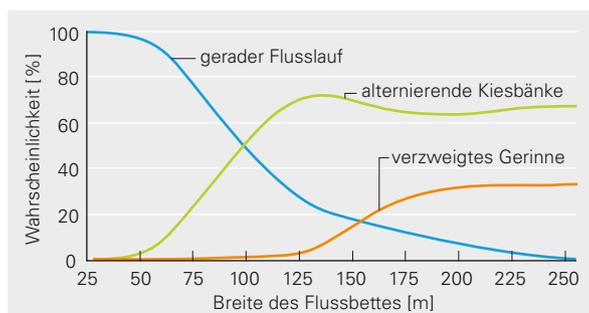


Abb. 2: Die zur Verfügung stehende Flussbreite verändert die Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung verschiedener Strukturen. Modellanwendung an der Thur zwischen Bürglen und Weinfelden [3].

### Rekordteilnahmezahl am Infotag

Stück für Stück wurden bis Ende 2005 die Syntheseberichte aus dem Rhone-Thur-Projekt fertig gestellt, auf [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) publiziert und teils gedruckt. Am 8. März 2006 fand dann an der ETH Zürich der Eawag-Infotag statt. Unter dem Titel: «Hochwasserschutz und Revitalisierung – Neue Wege für unsere Flüsse» brachte der Anlass an die 400 Interessierte aus Wissenschaft, Wasserbau, Ingenieur- und Umweltbüros sowie aus Verwaltung und Politik zusammen, so viele wie noch nie an einem Eawag-Infotag. Die Medien hoben den Dialog zwischen Ökologen und Ingenieuren hervor, das Rhone-Thur-Projekt habe Instrumente dafür geschaffen. So könne die Praxis «Handeln, bevor das Wasser bis zum Halse steht», titelte etwa die Webzeitung «ETH-Life». (ab)

- ▶ Die erhöhte Gerinnestabilität (Verlangsamung oder Stopp der Sohlenerosion) leistet einen Beitrag zum Hochwasserschutz.
- ▶ Die Vergrößerung der biologisch aktiven Flussfläche erhöht die Selbstreinigungskraft des Flusses.
- ▶ Auentypische Lebensräume werden gefördert. Zahlreiche Arten, bei den Vögeln z. B. Flussuferläufer und Flussregenpfeiffer, profitieren davon.

Chr. Hermann, BHA/Team AG, Frauentfeld



Die Aufweitung Schaffäuli an der Thur zwischen Niederneunforn (TG) und Altikon (ZH).

► Es entsteht ein grösseres Spektrum an kleinräumigen Habitaten und Strömungsverhältnissen. Damit vergrössert sich das Besiedlungspotenzial für benthisch lebende Organismen und Fische deutlich.

► Das Landschaftsbild wird vielfältiger, und der Erholungswert der Landschaft für Menschen steigt.

Da in der Schweiz sehr viele grössere Gewässer eingengt und begradigt sind, existiert ein grosses Potenzial für Flussaufweitungen. Im Rhone-Thur-Projekt wurden diejenigen Gewässerabschnitte identifiziert, die sich aufgrund der ökologischen Rahmenbedingungen grundsätzlich für eine Aufweitung eignen. Die Resultate zeigen, dass in dieser Hinsicht die Bedingungen fast überall günstig bis sehr günstig sind [4].

### Erfolgskontrollen tun Not

Die Erfolgskontrolle sollte ein wichtiges Element sein bei jedem Revitalisierungsprojekt. Durch ein systematisches Sammeln von Daten (Monitoring) werden die im Planungsprozess formulierten Ziele überprüft und beurteilt. Dabei wird die Ausgangslage vor der Revitalisierung mit der Situation danach verglichen. Als Messgrössen haben wir 50 Indikatoren beschrieben, welche, der Situation angepasst, in verschiedenen Kombinationen verwendet werden können. Unser Konzept der Erfolgskontrolle [5] berücksichtigt eine Vielzahl von Projektzielen. Bisherige Konzepte fokussierten oft nur auf die Ökologie. Wir beziehen gesellschaftliche und wirtschaftliche Ziele mit ein. Zudem können die politische Akzeptanz sowie die Qualität des Einbezugs von Beteiligten und Betroffenen beurteilt werden. Als Übersicht über die Ergebnisse einer Erfolgskontrolle kann ein Radardiagramm (Abb. 3) erstellt werden.

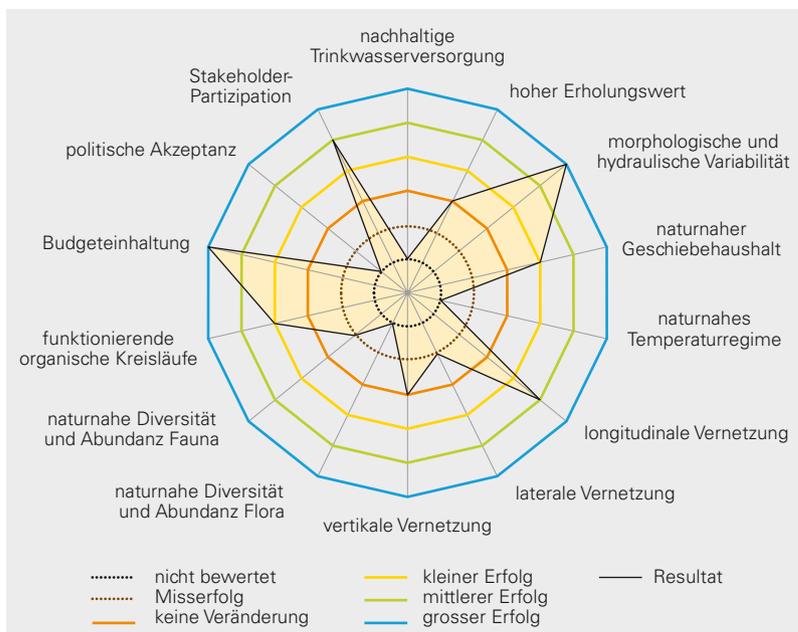


Abb. 3: Radardiagramm einer fiktiven Erfolgskontrolle zur Beurteilung der Erreichung der Projektziele [5].

Erfolgskontrollen geben Auskunft über die Wirtschaftlichkeit eines Projekts und sagen aus, ob die Mittel zielgerecht eingesetzt wurden. Mängel in der Projektkonzeption, unerwartete Auswirkungen des Eingriffes sowie anhaltende Defizite des revitalisierten Flussabschnittes werden aufgedeckt. Wissenschaftliche Erkenntnisse und Resultate des Monitorings bestimmen über eine laufende Anpassung des Flussmanagements (adaptives Management).

### Schwallbetrieb kann Revitalisierungen erschweren

Jedes vierte der mittleren und grösseren Gewässer in der Schweiz ist von Schwall-Sunk betroffen. Dieser regelmässige rasche Wechsel der Abflussmengen als Folge der bedarfsgesteuerten Stromproduktion aus Wasserkraft ist eine Störung im Fliessgewässer. In Alpenflüssen ist dies besonders während der Wintermonate von Bedeutung, wenn natürlicherweise ein niedriger, praktisch konstanter, ungetrübter Abfluss vorherrschen würde. Für Revitalisierungen stellt der Schwallbetrieb eine zusätzliche erschwerende Randbedingung dar. Um den Erfolg von Aufwertungsprojekten nicht in Frage zu stellen, empfehlen wir folgende Punkte:

► Es ist zu vermeiden, dass während der Wintermonate der maximale Schwall die Sohle täglich bewegt.

► Das Verhältnis zwischen den künstlichen Maxima und Minima im Abfluss soll soweit als möglich die Abflusscharakteristik einer unbeeinflussten Referenz abbilden und dabei auch saisonal variieren.

► Die Abflussveränderungen während der Schwall-Sunk-Phase sollen nicht zu rasch erfolgen, damit Organismen die Chance haben, sich auf die Bedingungen einzustellen, und sich in strömungsgeschützte Zonen zurückziehen können.

Der Schwallbetrieb kann negative Folgen der Flussbegradigung verstärken. Er zählt zu den Ursachen der biologischen Defizite, auch wenn sich die Einflüsse von Verbauungen und Schwall-Sunk nicht immer trennen lassen. Am Beispiel der Rhone wurde gezeigt, dass die erhöhte Trübung des Abflusses und die stärkere Vibration des Sohlenmaterials im Winter die Verstopfung der Fluss-

sohle (Kolmation) fördern. Das vermindert auch den Austausch zwischen Rhone- und Grundwasser. Als vorwiegend schwallbedingt erwiesen sich das übermässige Abschwemmen von Makroinvertebraten beim Abflussanstieg (Katastrophendrift) oder eine Mobilisierung von Feingeschiebe-Ablagerungen. Grosse Defizite wurden bei allen untersuchten Organismengruppen flussabwärts von Riddes festgestellt, wo der Schwall einfluss stark zunimmt. Die stärksten Auswirkungen hat der Schwallbetrieb dort, wo sich Land und Wasser treffen. Diese Wasserwechselzone ist als Lebensraum sowohl für aquatische als auch für terrestrische Organismen nur eingeschränkt nutzbar. Es gibt aber vereinzelt auch Arten, welche mit den harschen Bedingungen gut zurechtkommen und deshalb in der Uferzone von Schwallstrecken mangels Konkurrenz ansehnliche Besiedlungsdichten erreichen können. Zu diesen Arten gehören in der Rhone gewisse fädige Grünalgen oder die Larve der Köcherfliege, *Allogamus auricollis*. [6]

Um negativen Auswirkungen zu begegnen, sind folgende schwallreduzierende Massnahmen möglich [7]:

- ▶ turbiniertes Wasser in einen See oder ein separates Fließgewässer einleiten,
- ▶ turbiniertes Wasser gedämpft in den Fluss einleiten (z. B. Bau eines Rückhaltebeckens),
- ▶ Beschränkung der Leistung oder antizyklisches Turbinieren in verschiedenen Zentralen. Solche betriebliche Einschränkungen führen allerdings zu Einnahmeverlusten; ihre Wirtschaftlichkeit ist in der Regel deutlich schlechter als diejenige von baulichen Massnahmen,
- ▶ morphologische Optimierung oder Neugestaltung des Gewässers, mit dem Ziel, die betroffenen Zonen zu minimieren.

### Auch künftig ein Schwerpunkt

Für jedes flussbauliche Projekt gilt es, die Aspekte des Hochwasserschutzes und der Ökologie eng aufeinander abzustimmen. Dies führt zu einer «Win-Win-Situation» für Wasserbau und Ökologie. Viele Wasserbauer erachten heute den sorgfältigen Einbezug ökologischer Anliegen als eine Herausforderung. Zahlreiche realisierte Projekte belegen dies, zum Beispiel an Thur, Moesa, Emme oder Töss. Dieser Weg muss weiter besritten werden. Das Rhone-Thur-Projekt hat durch die Abstützung in Flussbau, Ökologie und Sozialwissenschaften Beiträge dazu geleistet.

Um den Wissenstransfer sicherzustellen, bietet die Eawag 2006 und 2007 verschiedene Praxiskurse im Bereich Flussrevitalisierung an. Mit einem mehrjährigen Folgeprojekt sollen bisher noch zu wenig erforschte Themen angegangen werden:

Fotos R. Riedeler, A. Peter



Die tolerante Köcherfliege *Allogamus auricollis* (hier die Larve) dominiert auf Schwallstrecken der Rhone in der Zone mit täglichen Schwankungen des Wasserstandes (sichtbar an der Schneelinie). Andere Arten von Eintags-, Stein- und Köcherfliegen fehlen weitgehend.

- ▶ Erarbeiten eines Lebensraumindex, basierend auf den hydraulischen und morphologischen Bedingungen. Beziehung zwischen diesem Index und der Biodiversität.
- ▶ Absetzung und Effekt der Feinsedimente in Flüssen.
- ▶ Hydraulisches und numerisches Modell zur Seitenerosion bei Flussaufweitungen.
- ▶ Einfluss von Querbauwerken und ihrer Gestaltung auf die Durchgängigkeit und auf Fische.
- ▶ Wiederbesiedlungsdynamik von revitalisierten Flussabschnitten. ○ ○ ○

Ausführliche Publikationslisten sind verfügbar unter [www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch) und [www.rhone-thur.eawag.ch](http://www.rhone-thur.eawag.ch)

Tagungsband zum Eawag-Infotag «Hochwasserschutz und Revitalisierung – neue Wege für unsere Flüsse» vom 8. März 2006 (Abschlussveranstaltung Rhone-Thur-Projekt): Eawag News 61; [www.eawag.ch](http://www.eawag.ch) > Publikationen.

- [1] Niederhauser P. (1999): Ökomorphologische Beurteilung der Fließgewässer. gwa 11/99, 921–930.
- [2] Hostmann M. (2005): Decision support for river rehabilitation. Dissertation Nr. 16 136, ETH Zürich.
- [3] Schweizer S., Borsuk M., Reichert P. (2006): Predicting the morphological and hydraulic consequences of river rehabilitation. River Research and Applications (accepted).
- [4] Rhode S. (2005): Integrales Gewässermanagement – Erkenntnisse aus dem Rhone-Thur-Projekt. Synthesebericht Gerinneaufweitungen. WSL, Birmensdorf. Mit Beiträgen verschiedener Autoren.
- [5] Woolsey S., Weber C., Gonser T., Hoehn E., Hostmann M., Junker B., Roulier C., Schweizer S., Tiags S., Tockner K., Peter A. (2005): Handbuch für die Erfolgskontrolle bei Fließgewässerrevitalisierungen. Publikation des Rhone-Thur-Projektes. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ.
- [6] Karaus U. (2004): The ecology of lateral aquatic habitats along river corridors. Dissertation Nr. 15 841, ETH Zürich.
- [7] Meile T. (2006): Schwall und Sunk in Fließgewässern. Eawag News: 61d, 28–29.



Balchen (*Coregonus sp.*)



Tiefenalbock (*Coregonus sp.*)



Albock (*Coregonus fatio*)



Kropfer (*Coregonus alpinus*)



Sandfelchen (*Coregonus arenicola*)



Winterbrienzing (*Coregonus sp.*)



# Lokale Evolution bestimmt kontinentale Biodiversität

**Der Ursprung der Artenvielfalt ist immer noch eines der grössten Rätsel der Biologie. Umso dramatischer ist es, dass die biologische Diversität weltweit so schnell wie nie zuvor schwindet. Die Gründe dafür sind nur zum Teil bekannt. Indem wir mehr über die Entstehung der Arten herausfinden, können wir auch Rückschlüsse auf die Ursachen der Artenverluste ziehen.** Domino A. Joyce, Ole Seehausen

Die grossen ostafrikanischen Seen wie z. B. der Viktoria- und der Malawisee sind bekannt für ihre äusserst diversen Artenschwärme von Buntbarschen aus der Unterfamilie Haplochrominae. Die verschiedenen Arten sind in einem relativ kurzen Zeitraum entstanden, ein Prozess, der als adaptive Radiation (schnelle Aufspaltung einer Population in viele Arten mit Anpassungen an unterschiedliche ökologische Bedingungen) bezeichnet wird. Im Gegensatz dazu beherbergen die meisten afrikanischen Flüsse nur wenige Buntbarscharten. Wahrscheinlich variieren die ökologischen Bedingungen dort weniger als in Seen. Eine Ausnahme sind die Flüsse im südlichen Zentralafrika (Karte Seite 15), wo sehr zahlreiche Buntbarscharten vorkommen. Wir wollten wissen, worauf diese Situation zurückzuführen ist [1].

## Genetische Charakterisierung der Flussbuntbarsche

Zuerst rekonstruierten wir, in welchem Verwandtschaftsverhältnis die in den Flüssen vorkommenden Buntbarsche zueinander stehen. Dazu sammelten wir Buntbarsche aus

allen grösseren Flüssen zwischen Kongo und Limpopo. Da morphologische Merkmale sehr schnell unter dem Einfluss der Umwelt evolvieren, können Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Arten am besten auf genetischer Ebene charakterisiert werden. Wir sequenzierten deshalb in allen Individuen dasselbe mitochondriale Gen. Unsere Ergebnisse fassten wir in einem Genstammbaum zusammen (Seite 15). Daraus lässt sich die zeitliche Abfolge der Entstehung der Artenvielfalt ableiten. Wir fanden, dass alle Arten dieser grossen Region im südlichen Afrika sehr nahe miteinander verwandt sind, und dass es sich tatsächlich um eine adaptive Radiation handelt, die wir die «südliche Radiation» nennen. Sie ist wahrscheinlich innerhalb der letzten 500 000 Jahre entstanden. Weitere Ergebnisse sind in der Box auf Seite 15 zusammengefasst.

## Der Palaeo-Makgadikgadisee

Die Vielfalt der morphologischen Anpassungen der Flussbuntbarsche entspricht derjenigen der Buntbarsche in den grossen ostafrikanischen Seen. Es stellte sich uns also die Frage, ob diese jetzt in Flüssen lebende Artenvielfalt vielleicht in einem grossen See entstanden sein könnte. Aus geologischen Befunden weiss man, dass sich im Bereich des mittleren Sambesi bis vor etwa 2000 Jahren ein grosser See befand, der nun ausgetrocknet ist.

Oben: Die im Thuner- und Brienersee vorkommenden Felchenarten unterscheiden sich nicht nur in Form, Farbe und Grösse, sie halten sich auch in unterschiedlichen Tiefen des Sees auf und laichen zu verschiedenen Zeiten. Zum Vergleich: Sandfelchen, die grösste der Schweizer Felchenarten, aus dem Bodensee (Bilder: Ruedi Müller, Eawag). Unten: Beat Abegglen, einer der beiden Berufsfischer am Brienersee, hat vor Iseltwald mit dem Bodennetz zahlreiche Brienzlinge gefangen (Bild: David Bittner).

### **Adaptive Radiation: Schweizer Seen mit afrikanischen vergleichbar**

Seen und Flüsse in Mitteleuropa weisen generell eine geringere Vielfalt von Fischarten auf als Gewässer in Südeuropa. Das ist wahrscheinlich auf die Schwierigkeit zurückzuführen, die nördlichen Gewässer nach der letzten Eiszeit neu zu besiedeln. Eine Fischgruppe war gleichwohl sehr erfolgreich: die Salmoniden, zu der u. a. Forellen, Felchen und Saibling gehören. Sie kamen vom Meer her und hatten, als sich das Eis zurückzog, unmittelbaren Zugang zu den Süssgewässern im Norden. Einige der Salmoniden machten in ihren neuen Lebensräumen bedeutende adaptive Radiationen durch. Dadurch sind die Schweizer Alpenrandseen Orte besonders hoher Diversität und in vielen Aspekten vergleichbar mit den afrikanischen Seen.

Die beeindruckendste Radiation ist die der Gattung *Coregonus* (Felchen). Insgesamt sind in der Schweiz mindestens 24 endemische Arten bekannt, wobei je nach See 3 bis 6 endemische Arten vorkommen. Die ökologischen Unterschiede manifestieren sich in der Körpergrösse (siehe Seite 12), der Form und Zahl der Kiemenreusen sowie in der Kieferform. Die unterschiedlichen Felchenarten ernähren sich von verschiedenen benthischen oder pelagischen Organismen. Darüber hinaus variieren die Laichzeiten und -orte der einzelnen Felchenarten (siehe auch Beitrag Seite 21).

Bis vor kurzem wurden jedoch ganze Salmoniden-Radiationen als eine einzelne Art behandelt, und in den vergangenen 50 Jahren sind in der Schweiz bereits 20–25% der Arten wieder ausgestorben – eine der höchsten Aussterbequoten für Wirbeltiere weltweit. Darum untersucht die Abteilung «Fischökologie und Evolution» die Salmoniden-Radiationen in den Schweizer Alpenrandseen derzeit genauer: In welchem historischen Zeitraum haben sie sich entwickelt? Durch welche ökologischen Kräfte entstanden die unterschiedlichen Salmoniden-Arten? Wie kommt es, dass die neu gebildeten Arten koexistieren können, ohne wieder zu fusionieren?

Pascal Vonlanthen, Alan Hudson, Pamela Woods

Kohlenstoffdatierungen zeigen, dass dieser Palaeo-Makgadikgadi-See mindestens 52 000 Jahre alt ist. Vermutlich entstand er im Pleistozän vor 460 000 bis 315 000 Jahren, als geologische Veränderungen die Verbindung zwischen dem oberen und mittleren Sambesi trennten und das Wasser der drei grossen Flüsse – Cuando, oberer Sambesi und Kafue – in ein abflussloses Becken geleitet wurde. In seiner maximalen Ausprägung nahm der Makgadikgadi-See 60 000 km<sup>2</sup> ein – rund eineinhalb Mal die Fläche der Schweiz. Im Laufe seiner Geschichte war der See mit verschiedenen Flusssystemen verbunden. Während des Holozäns durchbrach der See die Steilstufe der Verwerfung gegen Nordosten und begann sich in den mittleren Sambesi zu entleeren. Heute sind noch Reste des Palaeo-Sees zu sehen: die saisonalen Lagunen im Okavango-Delta und die Makgadikgadi-Salzpflanzen.

#### **Entstand der Artenreichtum im Palaeo-See?**

Wahrscheinlich entstand die südliche Radiation im riesigen Palaeo-Makgadikgadi-See, ähnlich wie die Radiationen im Victoria- und Malawisee. Dies würde nicht nur die schnelle Entstehung der Artenvielfalt und die Vielfalt der ökologischen Anpassungen plausibel erklären, sondern auch, warum viele dieser Arten nun in entfernten Flusssystemen leben.

Um diese Hypothese zu testen, gingen wir zwei Fragen nach:

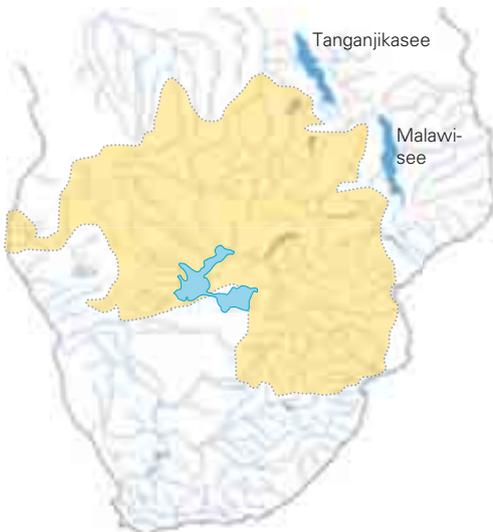
► Stimmt das Zentrum der Buntbarschvielfalt mit der Lage des Palaeo-Sees überein? Mit Hilfe der Datenbank des Südafrikanischen Instituts für Aquatische Biodiversität (SAIAB) analysierten wir die geografische Verbreitung der Artenvielfalt in den Flüssen der Region. Wir fanden, dass sich die Buntbarschvielfalt genau im Gebiet des Palaeo-Sees konzentriert, was stark darauf hindeutet, dass sich dort ihr Diversifizierungszentrum befand. Im Gegensatz dazu konnten wir für fünf andere dominante Fischgruppen, die normalerweise keine ausgedehnten adaptiven Radiationen in Seen durchmachen, kein Diversifizierungszentrum im ehemaligen Gebiet des Palaeo-Sees nachweisen.

► Wurde die rasche Diversifizierung der ursprünglichen Flussbuntbarsche durch die Vielzahl Seen-spezifischer ökologischer Nischen ausgelöst? Dazu charakterisierten wir die morphologischen Anpassungen der Buntbarsche im Makgadikgadi-Gebiet und verglichen sie mit Fluss- und Seebuntbarschen aus anderen Regionen. Die Makgadikgadi-Buntbarsche weisen eine viel grössere morphologische Diversität auf als flussbewohnende haplochromine Buntbarsche anderenorts in Afrika, und sie sind den Buntbarschen in Victoria- und Malawisee sehr ähnlich. Beispielsweise kommen Raubfische mit langen Köpfen und langen, schmalen Kiefern vor, die ihren Beutefischen aus einem Versteck heraus auflauern, und Schnecken-Fresser mit breiten Köpfen und starken Rachenkieferknochen und -muskeln zum Aufbrechen der Gehäuse. Interessanterweise gibt es im Makgadikgadi-Gebiet nur solche Buntbarscharten, deren Habitate sowohl in Seen als auch in Flüssen existieren. Beispielsweise sind pelagische Arten, die sich im Freiwasser aufhalten, dort nicht anzutreffen. Die Vielfalt der Buntbarscharten in den Flüssen des südlichen Zentralafrikas ist also wahrscheinlich deshalb so ungewöhnlich gross, weil die Evolution über eine gewisse Zeitspanne in dem heute nicht mehr existierenden Palaeo-Makgadikgadi-See besonders günstige Bedingungen für eine ökologische Diversifizierung geschaffen hat.

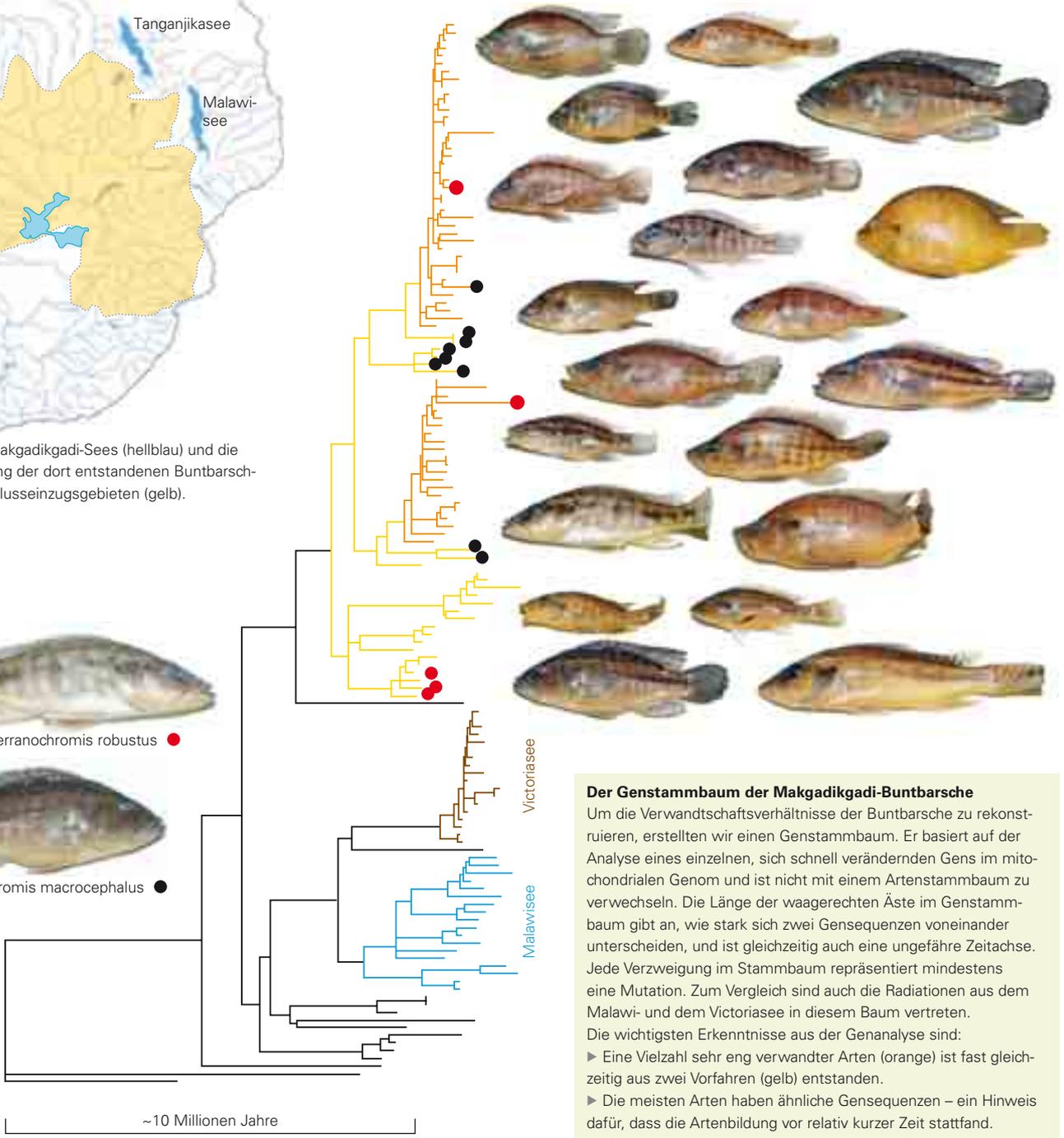
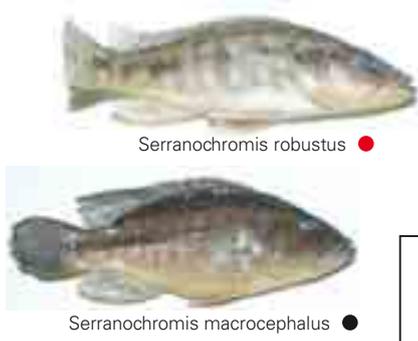
#### **Buntbarsch-Radiationen – wichtige Modellsysteme**

Unsere Ergebnisse legen nahe, dass die ökologischen Bedingungen in den Flüssen zwar das Fortbestehen der Artenvielfalt ermöglichen, dass für deren Entstehung aber die grössere ökologische Vielfalt des Sees erforderlich war. Zweifellos sind viele Arten der Radiation verloren gegangen, nachdem der See ausgetrocknet und ihre ökologischen Nischen verschwunden waren. Trotzdem zeigt dieses Beispiel eindrücklich, wie lokal begrenzte ökologische Dynamik (z. B. die Konkurrenz innerhalb und zwischen den Arten oder Räuber-Beute-Beziehungen) eine adaptive Radiation verursacht und schliesslich die Biodiversität auf einem ganzen Kontinent stark und nachhaltig beeinflussen kann.

Für die Wissenschaft sind die Buntbarsch-Radiationen in den afrikanischen Seen ein Glücksfall, denn solche



Lage des Paleo-Makgadikgadi-Sees (hellblau) und die aktuelle Verbreitung der dort entstandenen Buntbarsch-Radiation in den Flusseinzugsgebieten (gelb).



**Der Genstammbaum der Makgadikgadi-Buntbarsche**

Um die Verwandtschaftsverhältnisse der Buntbarsche zu rekonstruieren, erstellten wir einen Genstammbaum. Er basiert auf der Analyse eines einzelnen, sich schnell verändernden Gens im mitochondrialen Genom und ist nicht mit einem Artenstammbaum zu verwechseln. Die Länge der waagerechten Äste im Genstammbaum gibt an, wie stark sich zwei Gensequenzen voneinander unterscheiden, und ist gleichzeitig auch eine ungefähre Zeitachse. Jede Verzweigung im Stammbaum repräsentiert mindestens eine Mutation. Zum Vergleich sind auch die Radiationen aus dem Malawi- und dem Victoriasee in diesem Baum vertreten.

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Genanalyse sind:

- ▶ Eine Vielzahl sehr eng verwandter Arten (orange) ist fast gleichzeitig aus zwei Vorfahren (gelb) entstanden.
- ▶ Die meisten Arten haben ähnliche Gensequenzen – ein Hinweis dafür, dass die Artenbildung vor relativ kurzer Zeit stattfand.
- ▶ Obwohl die Unterschiede im untersuchten Gen gering sind, weisen die Arten eine sehr große Vielfalt morphologischer Anpassungen an verschiedene ökologische Gegebenheiten auf. Die Fotos zeigen die Vielfalt an Körperformen.
- ▶ Viele untereinander verwandte Arten der südlichen Radiation sind den Buntbarschen im Malawisee zwar sehr ähnlich, jedoch nicht mit ihnen verwandt.
- ▶ Eng verwandte Gensequenzen kommen auch geografisch weit getrennt voneinander vor.
- ▶ Verschiedene Individuen innerhalb einer Art und sogar Population können aber auch sehr unterschiedliche Gensequenzen aufweisen, was auf Hybridisierung zwischen den Vorfahren der Radiation hinweist. Besonders auffallend ist das bei *Serranochromis robustus* (rote Punkte) und *S. macrocephalus* (schwarze Punkte), die nach unseren Rekonstruktionen lange vor Beginn der Makgadikgadi-Radiation existiert haben müssen. Wahrscheinlich ist also die gesamte Radiation aus diesen beiden Arten hervorgegangen.

Modellsysteme, die es erlauben, die Entstehung neuer Arten zu erforschen, und die sowohl quantitative Vergleiche als auch experimentelle Untersuchungen ermöglichen, sind Mangelware. Die Arbeit an den Buntbarschen liefert Erkenntnisse, von denen wir viele auf andere Radiationen, sowohl bei Fischen als auch bei anderen Organismen, übertragen können. ○ ○ ○

[1] Joyce D.A., Lunt D.H., Bills R., Turner G.F., Katongo C., Duftner N., Sturmbauer C., Seehausen O. (2005): An extant cichlid fish radiation emerged in an extinct Pleistocene lake. Nature 435, 90–95.

# Dem Felchenfangrückgang im Brienzersee auf der Spur

**Im Jahr 1999 kam es im Brienzersee zu einem drastischen Einbruch des seit Jahren rückläufigen Felchenfangertrags. Besonders die Fischer vermuten einen Zusammenhang zur Nutzung der Wasserkraft im Grimselgebiet. In einem interdisziplinären Forschungsprojekt hat die Eawag mit verschiedenen Partnern den durch feine Schwebstoffe getrübbten Brienzersee durchleuchtet und vielschichtige Zusammenhänge aufgezeigt.** Alfred Wüest, Markus Zeh\*

Seit Jahren beschäftigt das trübe Brienzerseewasser die Fischereikreise. Es wird befürchtet, dass die durch die Hasliare eingetragenen Schwebstoffe den See über das natürliche Mass hinaus trüben, dessen ökologische Funktion beeinträchtigen und die Fischerträge schmälern. Immer wieder wurden Untersuchungen verlangt – sei es zu den Ursachen und Folgen der Trübung oder zum Zusammenhang mit der hydroelektrischen Nutzung, die im Grimselgebiet seit 75 Jahren betrieben wird [1, 2]. Nach einem schneereichen Winter mit Hochwassern im Mai brach 1999 der Felchenfangertrag der Berufsfischer um 90 Prozent ein (Abbildung). Die wenigen gefangenen Felchen waren mager, und ihre Mägen enthielten nur wenig Nahrung. Zudem fehlten 1999 die Daphnien – das wichtigste Futter der Felchen – fast völlig im See. Obwohl andere Organismen vorhanden waren, passten die Felchen ihren Speisezettel nicht an, sondern zogen es vor zu hungern.

## Interdisziplinäre Teamarbeit

Vertreter der Fischereiorganisationen, der Kraftwerke Oberhasli (KWO) und verschiedener Fachstellen des



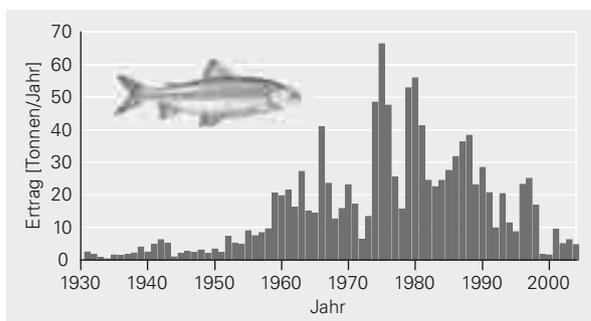
Rückgabe von turbiniertem (trüberem) Wasser in die Aare bei Innertkirchen.

Kantons waren sich einig, dass diese beunruhigenden Vorgänge dringend geklärt werden sollen. Da die vorhandene Datengrundlage nicht ausreichte, um die teilweise komplexen Vorgänge zu verstehen, wurde das Projekt «Veränderungen im Ökosystem Brienzersee» initiiert, um die notwendigen Untersuchungen durchzuführen und Wissenslücken zu schliessen. Eine Gruppe von sechs Wissenschaftlern verschiedener Disziplinen entwickelte aufgrund früherer Untersuchungen und vorhandener Daten ein abgestimmtes Gesamtprojekt [3]. Die konkreten Forschungsfragen wurden zu sieben Teilprojekten gruppiert und ab 2003 von verschiedenen Partnern bearbeitet (Tabelle). Das Projekt wird finanziell zu praktischen gleichen Teilen vom Kanton Bern, den KWO und dem Bundesamt für Umwelt sowie durch Eigenleistungen der Eawag und der Universität Genf getragen.

## Die übergeordneten Fragen

- ▶ Welche Faktoren haben zum generellen Rückgang des Felchenfangertrages geführt?
- ▶ Warum kam es 1999 zu drastischen Einbrüchen sowohl der Daphnienpopulation als auch des Felchenfangertrages?
- ▶ Sind Massnahmen für einen nachhaltigen Fischfang im Brienzersee notwendig und könnten damit ähnliche Situationen verhindert oder zumindest gelindert werden?

2004 und 2005 wurden umfangreiche Feldarbeiten im Brienzersee, an den beiden Zuflüssen und im Grimselgebiet durchgeführt. Zurzeit befinden sich die Teilprojekte im Abschluss: Der überwiegende Teil der Fragen konnte beantwortet werden. Die ersten Ergebnisse wurden im September 2005 an einem Symposium in Bern vorgestellt ([www.eawag.ch/events/brienzersee](http://www.eawag.ch/events/brienzersee)). Ende 2006 sollen die wissenschaftlichen Ergeb-



Felchenfangerträge im Brienzersee. Deutlich sichtbar der Einbruch in den Jahren 1999 und 2000.

nisse als Sondernummer von *Aquatic Sciences* erscheinen. Für die Öffentlichkeit erscheint eine Broschüre. Mit einer öffentlichen Informationsveranstaltung kommt das Projekt im Juli 2006 zum Abschluss.

### Erste Ergebnisse

**Schwebstoffe:** Zwar haben die Volumina der Gletscher im Einzugsgebiet des Grimselsees in den letzten Jahren um rund 400 Mio. m<sup>3</sup> abgenommen und zu grösseren Abflüssen der Aare beigetragen, doch lassen sich seit den 1960er Jahren nur geringfügig mehr Schwebstoffe in Aare und Lüttschine feststellen. Zwei Drittel der Schwebstoffe der Hasliiare bleiben in den Stauseen Grimsel, Oberaar und Räterichsboden liegen (jährlich 232 000 t). Zusammen mit dem Eintrag der Lüttschine folgt deshalb, dass heute – im Vergleich zur Zeit vor 1928 (Bau Grimselsee) – nur noch gut die Hälfte der Schwebstoffe in den Brienersee gelangen. Die kleinsten Schwebstoffe passieren die Stauseen weitgehend, jedoch wird ein wesentlicher Teil der Schwebstofffracht vom Sommer auf den Winter umgelegt.

**Trübung:** Da die Aare heute über das ganze Jahr gesehen weniger Schwebstoffe führt, das Wasser also «leichter» ist, schichtet sie sich häufiger in die Oberfläche des Brienersees ein als vor 75 Jahren [4]. Im

Sommer war die Seeoberfläche vor Beginn des Kraftwerkbetriebs dennoch deutlich trüber als heute – als Folge der dreimal grösseren Schwebstofffracht zu dieser Jahreszeit. Im Winter dagegen war der See etwas weniger trüb. Der Gehalt an organischen Inhaltsstoffen ist so gering, dass diese unwesentlich zu biologisch unterstützter Sedimentation beitragen. Der hohe Gehalt an feinen Schwebstoffen (mit Konzentrationen bis zu 25 mg/l, Hochwasser im August 2005) hat keinen negativen Einfluss auf die Daphnienpopulation des Sees. Umgekehrt ist die Zahl der Daphnien zu gering, um das Seewasser wirksam von den feinsten Schwebstoffen zu reinigen.

**Nährstoffe, Biomasse und Fischertrag:** Heute gelangen jährlich 7 t ( $\pm 1$  t) an gelöstem Phosphat-P in den See, wo eine primäre Produktion von gegen 70 g Kohlenstoff pro Quadratmeter erzeugt wird. Diese geringe Algenproduktion ist im üblichen Rahmen für ein Gewässer mit einem mittleren Gehalt an gelöstem Phosphor von nur 0,9 mg/m<sup>3</sup>. Der Brienersee enthält heute deutlich weniger Biomasse als die anderen nährstoffarmen Seen der Schweiz (Thuner-, Walen-, und Vierwaldstättersee). Der Ertrag der Felchenfänge liegt seit 2001 zwar eher an der unteren Grenze, jedoch noch im üblichen Rahmen für diesen Nährstoffgehalt. Der Rück-



Mündung der Aare mit ihren Schwebstoffen in den Brienersee.

gang widerspiegelt die verringerte Produktion und ist das Resultat eines reduzierten Wachstums der Fische. Dieses schlägt sich in geringerem Individualgewicht, einer Abnahme der Fortpflanzungsleistung und einer reduzierten Populationsgrösse nieder.

Die ersten vorläufigen Ergebnisse zeigen also, dass die mangelnde Futterbasis, tiefe Wassertemperaturen und der ausserordentliche Abfluss während des Hochwassers im Frühling 1999 die Hauptgründe für den Zusammenbruch der Daphnienpopulation gewesen sind. Dagegen schliessen wir Schwebstoffe und Parasiten als ebenfalls vermutete Ursachen aus. Bedingt durch das zunehmende knappe Nahrungsangebot ist ein erneuter Einbruch des Daphnienbestandes im Frühjahr auch künftig möglich – mit entsprechenden Auswirkungen auf die Felchen. ○ ○ ○

\* Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern

Thema	Bearbeitung
Veränderung der Hydrologie der Aare	Universität Bern
Rückgang der Nährstoffeinträge in den Brienersee	Bonnard+Gardel Ingenieure, Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (BE)
Veränderung der biologischen Produktivität durch Partikelhaushalt der Zuflüsse	Eawag, ETH Zürich
Fortpflanzung und Wachstum des Zooplanktons	Eawag
Beziehungsnetz Fische–Zooplankton	Büro für Gewässerökologie, Fischbiologie und Naturschutz (WFN), Eawag
Adsorption von Nährstoffen an Schwebstoffe	Eawag
Verminderte Beseitigung mineralischer Partikel	Universität Genf

Die sieben Teilprojekte der Untersuchungen zum Brienersee. Die Projektleitung liegt beim Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, der Vorsitz der Expertengruppe bei Alfred Wüest (Eawag).

- [1] Naturaqua (1993): Trübung Brienersee, Schlussbericht im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern.
  - [2] Eawag (1996): Das Verhalten von Schwebstoffen im Brienersee. Bericht im Auftrag des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern.
  - [3] Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern, GBL (2003): Veränderungen im Ökosystem Brienersee, Phase II «Prioritätensetzung», Expertenbericht.
  - [4] Finger D., Schmid M., Wüest A. (accepted): Effects of upstream hydropower operation on riverine particle transport and turbidity in downstream lakes, *Water Resources Research*.
- Weitere Informationen und Publikationen:  
[www.eawag.ch/brienersee](http://www.eawag.ch/brienersee) und [www.gsa.bve.be.ch](http://www.gsa.bve.be.ch) > Gewässerqualität > Seen > Berichte

# Leben und Sterben von Kaulquappen

**Wie gut überleben Kaulquappen der Erdkröte in Laichgewässern einer ursprünglichen und dynamischen Flussaue? Welche Faktoren sind entscheidend? Am Tagliamento hat sich gezeigt, dass die Überlebenschancen in exponierten Laichgewässern des aktiven Flussbettes deutlich besser sind als in Gewässern des Auenwaldes.** Fabienne Sutter, Lukas Indermaur

Dynamische Flussauen sind natürlicher Lebensraum von Amphibien. Als Folge von Urbanisierung und landwirtschaftlicher Tätigkeit sind intakte Flussauen in Mitteleuropa nahezu ganz verschwunden. Heute beschränkt sich der Lebensraum von Amphibien daher hauptsächlich auf Sekundärlebensräume wie Gartenweiher oder Feuerlöschteiche. Wertvolle und umfangreiche Erkenntnisse über die Ökologie von Amphibien stammen deshalb vorwiegend aus naturfernen Lebensräumen. Untersuchungen zur Ökologie von Amphibien in ihrer natürlichen Umgebung sind die Ausnahme.

## Trügerischer Schutz im Wald

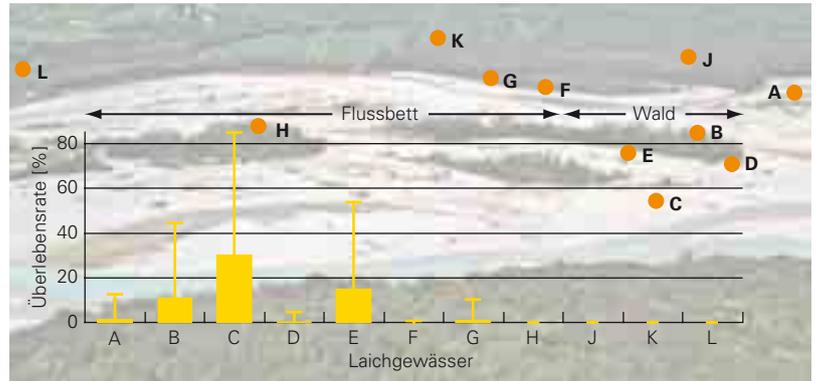
Der Tagliamento-Fluss im Nordosten Italiens bietet die einmalige Gelegenheit, Amphibien in einer intakten Flusslandschaft zu untersuchen. Erdkröten zum Beispiel nutzen zur Laichablage zwei unterschiedliche Bereiche der Flussaue: den Umlagerungsbereich des Flussbettes sowie den Auenwald. Kaulquappen in Laichgewässern des Umlagerungsbereiches

können durch Hochwasser leicht verdriftet werden, und bei ausbleibenden Regenfällen können die Gewässer austrocknen. Laichgewässer des Auenwaldes hingegen sind vor Hochwasser relativ gut geschützt und zeichnen sich durch eine meist permanente Wasserführung aus. Waldgewässer weisen aber gegenüber Gewässern im Flussbett einen höheren Räuberdruck sowie ein geringeres Nahrungsangebot auf.

## In jungen Laichgewässern lauern weniger Fressfeinde als im Auenwald.

Ein Fang-Wiederaufnahme-Experiment mit Erdkrötenlarven (*Bufo bufo spinosus*) ermöglicht Antworten auf die Frage, welche Bereiche denn nun die höheren Überlebenschancen bieten. Zwischen April und Juli 2005 fingen

wir an 11 Laichgewässern mehrfach Larven, markierten und entliessen sie wieder. Insgesamt markierten wir über 10 000 Individuen. Anhand der markierten und wiedergefangenen Tiere modellierten wir Fangwahrscheinlichkeiten und Überlebensraten [1]. Um die Faktoren zu bestimmen, welche das Überleben erklären, modellierten wir den Einfluss folgender Prozesse und ihres Zusammenspiels: Produktivität des Laichgewässers, Konkurrenz, Räuberdruck, Gewässercharakteristika, Entwicklung. Modelle mit den Variablen Räuberdruck und Entwicklungszeit erklären die Überlebensraten am besten. Deutlich unterscheiden sich die Überlebensraten in den Laichgewässern des Auenwaldes (0%) von jenen des aktiven Flussbettes (im Mittel 7,3%). Wieso diese Unterschiede? Laichgewässer im Flussbett sind infolge regelmäßiger Hochwasser meist sehr jung. Fressfeinde der Kaulquappen vermögen sich darin kaum zu etablieren. In Gewässern des Auenwaldes jedoch führen die sehr hohen Räuberdrichten zu erhöhter bis kompletter Sterblichkeit der Larven.



Verteilung der 11 beprobten Laichgewässern (rote Punkte) in der Flussaue. Die Grafik zeigt die Gesamtüberlebensrate (gelb) mit Standardfehler (rot) pro Gewässer.

wir an 11 Laichgewässern mehrfach Larven, markierten und entliessen sie wieder. Insgesamt markierten wir über 10 000 Individuen. Anhand der markierten und wiedergefangenen Tiere modellierten wir Fangwahrscheinlichkeiten und Überlebensraten [1]. Um die Faktoren zu bestimmen, welche das Überleben erklären, modellierten wir den Einfluss folgender Prozesse und ihres Zusammenspiels: Produktivität des Laichgewässers, Konkurrenz, Räuberdruck, Gewässercharakteristika, Entwicklung. Modelle mit den Variablen Räuberdruck und Entwicklungszeit erklären die Überlebensraten am besten. Deutlich unterscheiden sich die Überlebensraten in den Laichgewässern des Auenwaldes (0%) von jenen des aktiven Flussbettes (im Mittel 7,3%). Wieso diese Unterschiede? Laichgewässer im Flussbett sind infolge regelmäßiger Hochwasser meist sehr jung. Fressfeinde der Kaulquappen vermögen sich darin kaum zu etablieren. In Gewässern des Auenwaldes jedoch führen die sehr hohen Räuberdrichten zu erhöhter bis kompletter Sterblichkeit der Larven.

## Dynamik prioritär

Entgegen unserer Erwartung ermöglichen Laichgewässer im aktiven

Flussbett also deutlich höhere Überlebensraten als jene des Auenwaldes. Gewässer im Flussbett scheinen deshalb wichtig für den Fortbestand von Erdkrötenpopulationen in einer dynamischen Flusslandschaft. Kleingewässer im aktiven Flussbett zählen aber meistens zu den ersten Lebensräumen, die bei Flussregulierungen verloren gehen. Bei künftigen Flussrevitalisierungen sollte deshalb prioritär die Wiederherstellung der natürlichen Dynamik des Gewässerbettes angestrebt werden. Damit lassen sich junge und deshalb gute Laichgewässer erhalten. ○ ○ ○

[1] Schmidt B.R., Schaub M., Anholt B.R. (2002): Why you should use capture-recapture methods when estimating survival and breeding probabilities: on bias, temporary emigration, overdispersion, and common toads. *Amphibia-Reptilia* 23, 375–388. [www.eawag.ch/tagliamento](http://www.eawag.ch/tagliamento)

# Methan aus dem Meer gelangt grösstenteils nicht in die Atmosphäre

**Etwa 10 000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff sind in Form von Gashydraten – hauptsächlich Methan – in den Sedimenten der Weltmeere gebunden. Würde dieses Methan, nebst Kohlendioxid eines der wichtigsten Treibhausgase, in die Atmosphäre gelangen, wären die Folgen gravierend. Die Eawag hat in einem EU-Projekt aufgezeigt, dass vom Grund aufsteigendes Methan meistens gar nicht bis an die Meeresoberfläche gelangt.**

Carsten J. Schubert, Edith Kaiser, Lucia Klausner, Dan McGinnis, Christian Holzner, Rolf Kipfer, Alfred Wüest, Bernhard Wehrli

Besonders grosse Methanhydratfelder liegen an den Kontinentalhängen der Ozeane, wo das Wasser zwischen 500 bis 3000 m tief ist. Durch untermeerische Erdbeben könnte das dort gebundene Methanhydrat an die Meeresoberfläche gelangen, wobei riesige Mengen Methan in die Atmosphäre entweichen würden. Aktive Methanaustritte im Schwarzen Meer erlauben es, die Prozesse auch ohne «Katastropheneignis» zu studieren. Im EU-Projekt CRIMEA untersucht die Eawag daher die Methanvorkommen im Schwarzen Meer und deren Beitrag zur Zusammensetzung der Atmosphäre.

## Tausende von Quellen

Mit hydro-akustischen Methoden sind bis heute im nordwestlichen Teil des Schwarzen Meers tausende Blasenschleier aus Methanaustritten identifiziert worden. Alleine auf unseren Forschungsfahrten wurden über 2000 neue Quellen entdeckt. Es wird geschätzt, dass jährlich ungefähr 70 000 Tonnen Methan aus dem Schwarzen Meer in die Atmosphäre gelangen. Bisher ist allerdings noch unklar, was mit dem Methan auf seinem Weg vom Sediment durch die Wassersäule geschieht.

Dies ist eine der Fragen, denen Forscher von zehn europäischen Forschungsinstituten und Universitäten – darunter auch die Eawag – im Rahmen des Projekts CRIMEA (Contribution of high intensity gas seeps in the Black Sea to methane emission to the atmosphere) nachgehen. Spezifisch zielt CRIMEA darauf ab:

- ▶ die Methanquellen im Schwarzen Meer zu kartieren,
- ▶ die austretenden Stoffe zu quantifizieren,

- ▶ die aktiven Methan abbauenden Organismen auf dem Meeresboden und in der Wassersäule zu beschreiben,

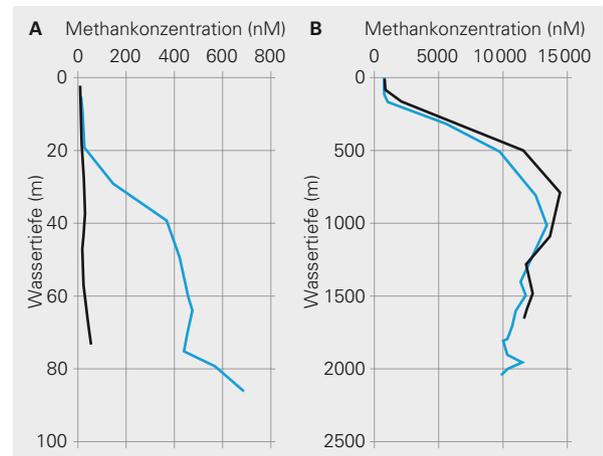
- ▶ den Methanumsatz zu beziffern

- ▶ und die physikalischen, biologischen und chemischen Prozesse zu charakterisieren, die während des Aufstiegs des Methans zur Meeresoberfläche eine Rolle spielen.

Wir haben zwei Methanquellen, die durch das «Gasblasen-Imaging»-Verfahren nachgewiesen werden konnten, in 90 m und in 1980 m Wassertiefe untersucht. Zum Vergleich wurden zusätzlich je zwei Referenzstellen in ähnlichen Tiefen ohne Methanquellen untersucht. Während die Methankonzentrationen über der tief gelegenen Quelle fast identisch waren mit den Referenzstellen, waren sie über der Methanquelle im flachen Meer zehn Mal höher als über der Referenzstelle (Abbildung).

## Einzeller als Methanfresser

Die stetige Abnahme der Methankonzentration vom Meeresgrund zur Wasseroberfläche (Abbildung) deutet auf einen bakteriellen Abbau hin. Dies wird durch schwerer werdende Kohlenstoffisotope des Methans während des Aufstieges durch die Wassersäule bestätigt [1]. Unsere Untersuchungen zeigen, dass in den oberen, oxischen Wasserschichten das Methan mit Hilfe von Sauerstoff durch Bakterien aus der Gruppe der aeroben Methanoxidierer zu Kohlendioxid umgesetzt wird. Im Tiefenwasser dagegen wird das Methan aufgrund der anoxischen Verhältnisse mit Hilfe von Sulfat durch Archaeen oxidiert [2]. Unsere Modellrechnungen zeigen, dass diese Oxidation so erfolgreich ist, dass kein oder nur



Methankonzentrationen in den Wassersäulen über einer im flachen Bereich (A) und einer im tiefen Bereich (B) liegenden Methanquelle (schwarze Kurven) sowie den jeweiligen Referenzstellen (blaue Kurven) im Schwarzen Meer.

wenig Methan der Methanquellen unterhalb hundert Meter Wassertiefe in die Atmosphäre entweicht [3].

○ ○ ○

- [1] Schubert C.J., Durisch-Kaiser E., Holzner C.P., Klausner L., Wehrli B., Schmale O., Greinert J., McGinnis D., De Batist M. and Kipfer R. (2006): Methano-trophic microbial communities associated with bubble plumes above gas seeps in the Black Sea. *Geochem. Geophys. Geosys.*, in press.
- [2] Durisch-Kaiser E., Klausner L., Wehrli B., Schubert C.J. (2005): Evidence for intense archaeal and bacterial methanotrophic activity in the Black Sea water column. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 71, 8099–8106.
- [3] McGinnis D.F., Wüest A., Schubert C.J., Klausner L., Lorke A. and Kipfer R. (2005): Upward flux of methane in the Black Sea: Does it reach the atmosphere? *Environmental Hydraulics and Sustainable Water Management*, 423–429.

# Retentionsweiher reinigen Drainagewasser aus der Landwirtschaft

**Retentionsweiher können dazu beitragen, den Phosphorausstrag aus landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten zu reduzieren. Ihre Rückhaltekapazität ist jedoch begrenzt. Die Weiher können Massnahmen, welche die Überversorgung des Bodens mit Phosphor verringern, nicht ersetzen.** Miriam Reinhardt, René Gächter, Beat Müller

**Bleibt das Wasser zu kurz im Weiher, wird auch kaum Phosphor zurückgehalten**

Der Phosphorausstrag aus Agrarflächen ist mitbestimmend für die Wasserqualität der Schweizer Mittellandseen. Um die Phosphorbelastung von Sempacher-, Baldegger- und Hallwilersee zu vermindern, wurden an

der Nahtstelle zwischen Drainagen und Vorflutern bisher 14 Retentionsweiher angelegt. Sie fangen das Drainagewasser der Grünlandflächen auf und sollen die hohen Phosphorfrachten durch

biologische, chemische und physikalische Prozesse verringern. Die Effizienz solcher künstlicher Feuchtgebiete («constructed wetlands») ist umstritten. Daher haben wir Prozesse und Einflussfaktoren untersucht, die den kurz- und langfristigen Nährstoffrückhalt steuern, und Massnahmen aufgezeigt, die die Effizienz der Retentionsweiher optimieren können.

Für die Studie wurden zwei Retentionsweiher im Einzugsgebiet des Sempachersees ausgewählt. Die Phosphor-Flüsse in den Weihern wurden über jeweils mehr als zwei Jahre

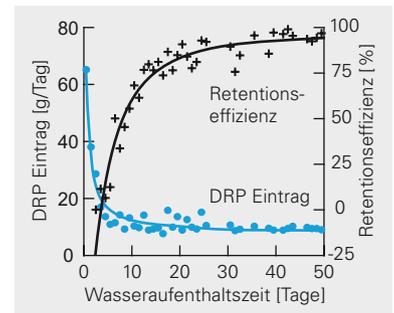
mit hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Der mit maximal 60 cm relativ flache und 2350 m<sup>2</sup> grosse Sonnhof-Weiher (Gemeinde Sempach) besitzt ein Retentionsvolumen von 1200 m<sup>3</sup> und sammelt das Drainagewasser von 20,4 ha, die überwiegend als Grünland genutzt werden. Der bis zu 3 m tiefe Boden-Weiher (Gemeinde Neuenkirch, Foto) besteht aus drei einzelnen Becken mit einer Gesamtläche von 720 m<sup>2</sup> und 700 m<sup>3</sup> Volumen. Sein Zufluss stammt aus einem 8,4 ha grossen, stark mit Phosphor angereicherten Einzugsgebiet.

## Aufenthaltszeit entscheidend

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Grossteil der jährlichen Phosphorfracht während Starkniederschlägen in die Retentionsweiher transportiert wurde. Mit der Wasserführung der Drainagen stieg auch die Phosphorkonzentration des Drainagewassers an. Da das Speichervolumen für Hochwasser im Sonnhof-Weiher nur gering war, sank die Wasseraufenthaltszeit während Starkniederschlägen auf unter einen Tag. Der Phosphorrückhalt war entsprechend minimal. Mit zunehmender Wasseraufenthaltszeit stieg die Retentionseffizienz jedoch deutlich an, wie die Abbildung zeigt. Plankton assimilierte den eingetragenen Phosphor am schnellsten. Um kurzfristig etwa 50 % der Phosphor-Fracht zurückzuhalten, sollte die Wasseraufenthaltszeit im Retentionsweiher in Übereinstimmung mit Modellprognosen mindestens 7 Tage betragen [1].

## Regelmässige Räumung nötig

Langfristig hielten beide Retentionsweiher 1,1 g Phosphor pro m<sup>2</sup> und Jahr zurück. Dies entspricht einer Retentionseffizienz von 23 % im Sonnhof-Weiher und 7 % im Boden-Wei-



Eintrag von gelöstem reaktivem Phosphor (DRP, dissolved reactive phosphorus) und prozentuale Phosphorretention im Sonnhof-Weiher (2001) in Abhängigkeit von der Wasseraufenthaltszeit.

her. Im Boden-Weiher wurden bei ausreichender Wasseraufenthaltszeit zwar zusätzlich mindestens 8 bis 9 g Phosphor pro m<sup>2</sup> und Jahr assimiliert und sedimentiert. Der sedimentierte Phosphor wurde jedoch wieder mineralisiert und aus dem Retentionsweiher ausgespült [2]. Aus diesen Resultaten können folgende Schlüsse gezogen werden: Um Phosphor effizient zurückzuhalten, müssen die Retentionsweiher

- eine ausreichende Speicherkapazität für Hochwasser besitzen,
- über offene Wasserflächen verfügen, die das Planktonwachstum ermöglichen,
- regelmässig ausgeräumt werden, um die Phosphor-Rücklösung zu minimieren. ○ ○ ○



Der frisch angelegte Boden-Weiher mit Meteo-Station.

[1] Reinhardt M., Gächter R., Wehrli B., Müller B. (2005): Phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. J. Environ. Qual. 34, 1251–1259.

[2] Reinhardt M., Gächter R., Müller B. (eingereicht): Retentionsweiher für landwirtschaftliches Drainagewasser – ein Beitrag zur Sanierung der Mittellandseen? gwa.

# Die Wiederentdeckung des Edelfisches im Vierwaldstättersee

**Der Edelfisch, eine der drei Felchenarten des Vierwaldstättersees, verschwand um 1980 völlig aus den Berufsfischerfängen. Doch nun konnte seine Existenz durch gezielte Probefänge auf den sehr tief gelegenen Laichgründen bestätigt werden. Erstmals konnten ausserdem Eier des Edelfisches erbrütet und Jungfische aufgezogen werden.** Rudolf Müller

Der Vierwaldstättersee beherbergt drei spezielle Felchenarten: das kleinwüchsige «Albeli», den grossen «Balchen» und den mittelgrossen «Edelfisch». Alle drei Arten sind oder waren wirtschaftlich wichtig und werden seit Jahrhunderten befischt. Der Edelfisch war bis etwa 1950 die wirtschaftlich wichtigste Felchenart im «Inneren See», d. h. östlich der Seeenge zwischen Vitznau und Buochs. Seine Laichplätze lagen auf grossen Tiefen von 100–200 m [1]. Edelfische

wurden vor allem in der ersten Jahreshälfte und im Herbst im Freiwasser gefangen. Zwischen Ende Juli und Mitte September waren die dann laichenden Fische dagegen geschont. Die anderen Felchenarten laichen im Winter.

## Verschlammung der Laichplätze befürchtet

Der Fangtrug an Edelfischen nahm von 1950 bis 1979 sukzessive ab, und seit 1980 galt die Art als ausgestorben. Als wichtigste Ursache dafür wurde die Überdüngung des Sees angeführt. Es wurde vermutet, dass sich die grossen Mengen Algen, die der See während der stärksten Nährstoffbelastung zwischen 1970 und 1985 produzierte, als Schlamm auf den Laichgründen des Edelfisches ablagerten, wodurch die Eier ersticken.

Von 1995 an tauchten vereinzelt Felchen in den Berufsfischernetzen auf, von denen vermutet wurde, dass es sich um Edelfische handeln könnte. Die im Frühsommer gefangenen, mittelgrossen Felchen waren fast laichreif. 2004 genehmigte dann die Fischereikommission Vierwaldstättersee Probefänge auf Edelfische,

um abzuklären, ob diese Art wirklich noch existiere. Von Juli bis September 2004 konnten auf den von früher bekannten Laichplätzen auf 100 bis 140 m Tiefe vor Gersau insgesamt 27 Felchen gefangen werden, die an der Eawag zweifelsfrei als Edelfische identifiziert wurden. Alle Fische waren reif und entsprachen in Aussehen und Wachstum älteren Beschreibungen dieser Art [1]. Eines der Weibchen enthielt noch rund 3600 reife Eier, welche abgestreift, befruchtet und erbrütet werden konnten. Erstmals überhaupt konnte so die Entwicklung von Edelfischeiern fotografisch festgehalten werden. Die Hälfte der geschlüpften Brütlinge wurde im Aquarium aufgezogen und ihre Entwicklung ebenfalls dokumentiert.

## Tauchen weitere verschollene Arten auf?

Als Folge des verbesserten Seezustandes scheint sich der Edelfischbestand im Vierwaldstättersee wieder zu erholen. Die Wiederentdeckung beweist, dass sich alle drei Felchenarten im Vierwaldstättersee immer auch selbst fortpflanzen konnten, also auch der Edelfisch, obwohl dessen tief gelegenen Laichplätze am stärksten bedroht waren. Denn Edelfische wurden nie eingesetzt. Der Wiederaufbau lässt ferner hoffen, dass auch weitere verschollene Felchenarten in anderen Seen noch vorhanden sein könnten. ○ ○ ○



Eier des Edelfisches im so genannten Augenpunktstadium. Eidurchmesser 2,3 mm.



Junger Edelfisch, 117 Tage alt, 38 mm lang, aus Aquarienaufzucht.



Fotos: Eawag

Edelfischweibchen (oben) und -männchen (unten), 32 bzw. 33 cm lang, gefangen am 15. September 2004. Eier dieses Weibchens wurden erstmals erbrütet.

- [1] Birrer A., Schweizer W. (1936): Der Edelfisch des Vierwaldstättersees *Coregonus Wartmanni nobilis*, Fatio. Arch. Hydrobiol. 29, 617–663.
- [2] Müller R. (2006): The re-discovery of the vanished «Edelfisch» *Coregonus nobilis* Haack, 1882, in Lake Lucerne, Switzerland. Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. (in press).

# Wo es den Forellen am wohlsten ist

**Mit Infrarot-Thermografie können die Oberflächentemperaturen ganzer Flusslandschaften erfasst werden. Die Wärmebilder erfassen einen Teil der Gewässercharakteristik, denn eine vielfältige Temperaturstruktur weist auf vielfältige Refugien sowie auf eine intakte Vernetzung zwischen Grund- und Oberflächenwasser hin. So können die Aufnahmen Planung und Erfolgskontrolle von Revitalisierungen unterstützen.**

Urs Uehlinger, Klement Tockner, Christoph Tanner<sup>1</sup> und Thomas Frank<sup>2</sup>

## Überraschend leben ursprüngliche Arten und Hybriden nebeneinander

Für viele Wasser- und Landlebewesen sind spezifische Temperaturbedingungen massgebend, um zu überleben und vor allem, um sich fortpflanzen zu können. Die Temperatur beeinflusst nicht nur Organismen direkt, sondern auch Stoffumsätze von terrestrischen und aquatischen Lebensräumen in Flussauen. So spiegelt die räumliche Verteilung von Organismen neben andern Einflussfaktoren auch die räumliche Heterogenität eines Gewässers in Bezug auf die Temperatur. Fische wie die Forelle und die Äsche bevorzugen bei hohen sommerlichen Temperaturen Orte, wo Grundwasser austritt oder kühlere Zuflüsse einmünden.

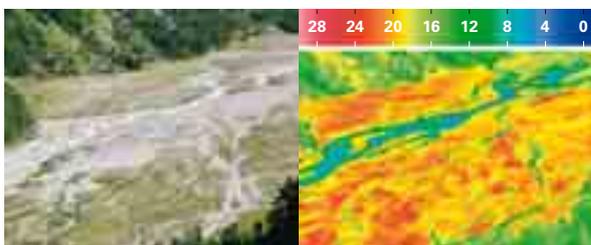


Abb. 1: Val Roseg am 23. August 2004 über Mittag.

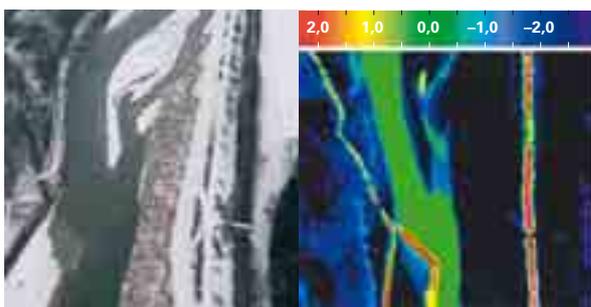


Abb. 2: Thur unterhalb Altikon (Aufweitung Schaffäuli) am 26. Januar 2005 um 14:00. 1 = Auenbach, 2 = Grundwasseraufstoss in Hinterwasser, 3 = Binnenkanal.

## Aufwändige Punktmessungen

In Fließgewässern wird Temperatur meist mit Handgeräten gemessen oder mit Temperaturloggern kontinuierlich aufgezeichnet. Zwar liefern Logger Daten mit hoher zeitlicher Auflösung, aber die gewonnene Information gilt immer nur für einen einzelnen Punkt im Gewässer. Wenn ein komplexes System, wie ein Fluss und seine Aue, thermisch charakterisiert werden soll, steigt der Messaufwand enorm.

Das Thermografie-Aufnahmeverfahren ist eine Methode, Oberflächentemperaturen von Objekten im Infrarotbereich mit relativ hoher Auflösung ( $<0,1\text{ °C}$ ) über grössere Flächen zu erfassen. Dabei liefert eine auf  $-195\text{ °C}$  gekühlte IR-Kamera dem Aufnahmegerät 53 000 einzelne Messwerte, die zu einem Wärmebild aus  $256 \times 207$  Punkten zusammengesetzt werden. Die Thermografie wird routinemässig bei bauphysikalischen Abklärungen angewendet, zum Beispiel zur Lokalisierung von Wärmeverlusten an Gebäudehüllen. In Zusammenarbeit mit der Empa hat die Eawag diese Methode erstmals zur thermischen Kartierung von Flusslandschaften eingesetzt. Dazu wurde die Infrarot-Kamera an einem Helikopter befestigt und verschiedene Flussauen sowie ein kürzlich renaturierter Abschnitt der Thur überflogen. Die Aufnahmen haben erstaunlich detaillierte Ergebnisse gebracht, wie zwei Beispiele zeigen.

► Die alpine Flusslandschaft im Val Roseg ist an einem sonnigen Nachmittag im August thermisch sehr heterogen (Abb. 1). Der kalte Korridor des Gletscherbaches ( $4\text{ °C}$ ) setzt sich

deutlich ab von Arealen mit Pioniervegetation oder barem Flusssediment (bis über  $30\text{ °C}$ ).

► Das thermografische Bild der Thur im Januar zeigt, wie sich das relativ warme Grundwasser ( $3\text{ °C}$ ) des Auenbachs in der kalten Thur ( $0\text{ °C}$ ) verteilt (Abb. 2). Ebenfalls deutlich sichtbar ist der Austritt von Grundwasser in einem teilweise zugefrorenen Hinterwasser einer Kiesinsel, welche durch die Flussaufweitung entstanden ist.

## Hilfe bei Revitalisierungen

Das Beispiel der Thur illustriert das Potenzial von thermografischen Aufnahmen, Warm- und Kaltwasserbereiche zu lokalisieren. Besonders Kaltwasserbereiche spielen bei hohen sommerlichen Wassertemperaturen und Niederwasser eine wichtige Rolle als Refugien für wärmeempfindliche Fischarten. Wärmebilder könnten daher auch nutzbringend bei der Planung von Revitalisierungen grösserer Gewässer und anschliessend bei der Erfolgskontrolle eingesetzt werden. Zum Beispiel wenn es um die Frage geht, inwieweit der Grundwasser-Oberflächenwasser-Austausch durch Revitalisierungsmassnahmen wiederhergestellt werden kann und damit Kaltwasser-Refugien geschaffen werden können. ○ ○ ○

Torgersen C. E., Price D. M., Li H. W., McIntosh B. A. (1999): Multiscale thermal refugia and stream habitat associations of Chinook Salmon in Northeastern Oregon. *Ecological Applications* 9, 301–319.  
Uehlinger U., Malard F., Ward J. V. (2003): Thermal patterns in the surface waters of a glacial river corridor (Val Roseg, Switzerland). *Freshwater Biology* 48, 284–300.

<sup>1</sup> QC-Expert AG, Dübendorf, <sup>2</sup> Empa

# Parasiten haben Einfluss auf die Artenvielfalt

**Zwei Wasserfloharten können im selben See gut mit ihren Kreuzungen zusammen existieren. Neben dem Nahrungsangebot oder der Temperatur steuert der Frassdruck die anteilmässige Zusammensetzung der Arten. Nun hat sich gezeigt, dass auch Parasiten entscheidend Einfluss haben auf die Populationsdynamik der Wasserflöhe.** Justyna Wolinska, Piet Spaak

Wasserflöhe (*Daphnia*) sind kleine, 1–2 mm grosse, in Seen lebende Plankton-Organismen, die Algen fressen und eine Hauptquelle der Fischnahrung darstellen. 2003 und 2004 nahmen wir Proben der Daphnien-Populationen aus 43 Seen in der Schweiz und in Norditalien. Wir konnten zeigen, dass in diesen Seen zwei oder drei Daphnien-Arten leben, die sich paaren und Kreuzungen (Hybriden) erzeugen können. Überraschenderweise koexistieren diese verschiedenen Arten und ihre Hybriden oft miteinander – allerdings in einem sehr dynamischen Prozess [1]. Eine Zeit lang dominiert die eine, danach wieder eine andere Form die Population. Es ist möglich, dass bestimmte Tiere von bestimmten Umständen begünstigt werden: Zum Beispiel wenn in Zeiten mit hohem Frassdruck durch Fische die etwas kleineren Hybriden besser überleben als die grösseren, ursprünglichen Arten [2]. Auch Temperatur und Nahrungsangebot können Einfluss haben. Bisher kaum berücksichtigt wurde jedoch die Wirkung von Parasiten auf die verschiedenen Daphnien-Arten. In kleinen Teichen wird die aus einer einzigen Art gebildete Daphnien-Po-

pulation öfter von Parasiten befallen. Dagegen hat man angenommen, dass dies in grösseren Seen unwahrscheinlich sei, weil dort die Daphnien-Arten hybridisieren. Überraschenderweise fanden wir nun aber während unseren Felduntersuchungen, dass die Daphnien von vielen verschiedenen Parasiten infiziert sind. Teilweise sind bis zu 60% der ganzen Population befallen, und die meisten der Parasiten haben eine grosse Wirkung auf die Gesundheit der Wasserflöhe. So haben infizierte Exemplare eine höhere Sterblichkeit als gesunde Daphnien, und befallene Tiere tragen oft keine Eier.

## Stark vermehrt, aber auch stark befallen

Wir stellten fest, dass in jedem See eine einzelne Daphnien-Art stärker von Parasiten befallen ist als die anderen. Doch ein eindeutiges Muster – zum Beispiel dass Hybriden öfter befallen würden – konnten wir nicht nachweisen. Je nach Kombination von Wirt und Parasit und in jedem See treten unterschiedliche Muster auf. Um herauszufinden, ob sich der Parasitenbefall im Laufe der Zeit verändert, haben wir die Daphnien-Po-

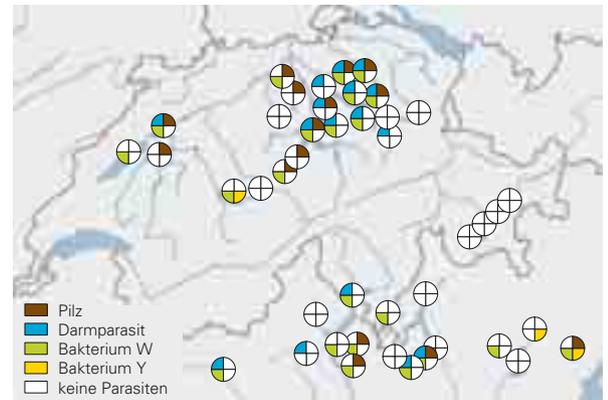
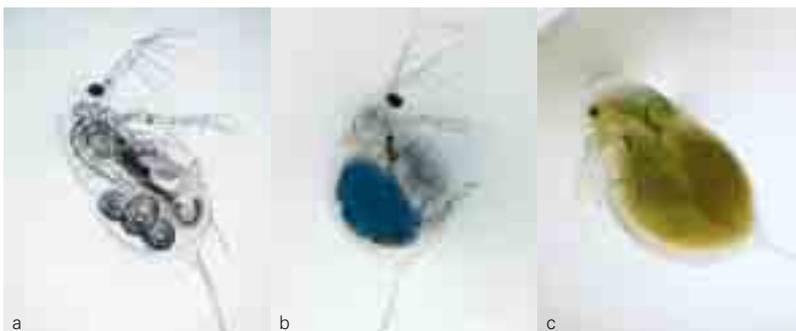


Abb. 2: Das Vorkommen der vier häufigsten Daphnia-Parasiten in 43 untersuchten Schweizer und italienischen Seen: Bakterium W = Bakterium, das die Daphnien weiss färbt; Bakterium Y = Bakterium, das die Daphnien gelb färbt.

pulation im Greifensee vier Jahre lang alle zwei Wochen beobachtet. Eine der ursprünglichen Arten war zuerst selten und gesund. Dann vermehrte sich diese Art stark, wurde danach aber auch sehr viel mehr von Parasiten befallen.

Die umfangreiche Feldstudie zeigt, dass Epidemien von *Daphnia*-Parasiten auch in grossen Seen häufig vorkommen – entgegen der bisher verbreiteten Meinung. In der weiteren Forschung und Diskussion zu den Bedingungen für eine Koexistenz verschiedener Daphnien-Arten dürfen daher Parasiten nicht vernachlässigt werden. ○ ○ ○



Fotos: Eawag

Abb. 1: Eine gesunde Daphnie (a): drei Eier sind im Brutbeutel sichtbar. Mit einem unbekanntem Pilz infiziertes Tier (b): Alle Eier sind zerstört. Mit Bakterien infiziertes Tier (c): auffällig gelb gefärbt (Bakterium Y).

[1] Keller B., Spaak P. (2004): Non-random sexual reproduction and diapausing egg production in a *Daphnia* hybrid species complex. *Limnol. Oceanogr.* 49, 1393–1400.

[2] Spaak P., Hoekstra J. R. (1997): Fish predation on a *Daphnia* hybrid species complex: A factor explaining species coexistence? *Limnol. Oceanogr.* 42, 753–762.

# Wasser Siedlungswasserwirtschaft Sied gebiet

**Problematische Stoffe, der enorme Mittelbedarf für die Erneuerung einer über Jahrzehnte aufgebauten Infrastruktur und ein möglichst nachhaltiger Umgang mit Ressourcen zwingen die Siedlungswasserwirtschaft, neue Lösungen zu prüfen. Die Eawag fokussiert ihre Forschung daher in diesem Handlungsfeld unter anderem darauf, Alternativen in der Abwasserentsorgung aufzuzeigen und gemeinsam mit bestehenden Systemen zu bewerten.**

Allein der Wiederbeschaffungswert der Anlagen zur Siedlungsentwässerung beträgt in der Schweiz rund 100 Milliarden Franken. Zusammen mit der Wasserversorgung verdoppelt sich die Summe annähernd. Sind Werterhaltung und Erneuerung der bestehenden Systeme langfristig überhaupt zahlbar? Wie reagiert die Siedlungswasserwirtschaft auf neue Technologien und auf die wachsenden Unsicherheiten, hervorgerufen etwa durch neue Problemstoffe oder durch rasche Veränderungen der Nachfragesituation? Um Antworten auf solche Fragen zu finden, setzt die Eawag ihre Forschungsschwerpunkte entsprechend. Der verstärkte Einbezug der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung (neue Abteilung Cirus ab 1.1.2006) sichert dabei, dass nicht nur technische und naturwissenschaftliche Probleme im Auge behalten, sondern auch Organisationsformen, Fragen im Zusammenhang mit dem Übergang von alten auf neue Systeme sowie die ökonomischen Aspekte berücksichtigt werden.

## **Alternativen vergleichbar machen**

In einer Umfeld- und Szenarioanalyse hat die Eawag zusammen mit Expertinnen und Experten aus der Praxis mögliche Richtungen skizziert, wie sich die Schweizer Siedlungswasserwirtschaft, namentlich im Bereich Abwasserentsorgung, entwickeln könnte. Neue organisatorische Ansätze? Neue Konzepte und Technologien? Finanzielle Krise? Wo der Weg hinführt oder welche Szenarien sich in Kombination durchsetzen werden, ist noch offen. Eine umfassende Gegenüberstellung von existierenden und möglichen Abwasserentsorgungssystemen fehlt bisher. Im Handlungsfeld Siedlungswasserwirtschaft wird Expertenwissen zusammengetragen, strukturiert und schliesslich unter sozialen, technischen, institutionellen und ökonomischen Aspekten bewertet. So können Systemalternativen rangiert und der Praxis Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt werden.

Die Eawag forscht dabei nicht nur auf die Schweiz bezogen. Denn das bis anhin kaum hinterfragte Abwasser-

# im Siedlungs-

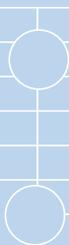
entsorgungssystem mit Toilette, Schwemmkanalisation und zentraler Reinigung in Kläranlagen lässt sich nicht beliebig exportieren – zum Beispiel in aride Gebiete oder in boomende Grossstädte in Schwellenländern, in denen der Bau einer flächendeckenden Kanalisation mit der Entwicklung nie Schritt halten kann.

## Stoffkreisläufe schliessen

Ein Kennzeichen vieler bisher praktizierter Lösungen ist, dass sie erst spät ansetzen oder Symptome bekämpfen – beispielsweise dann, wenn problematische Schadstoffe aufwändig und teuer in einer zentralen Kläranlage aus dem Abwasser entfernt werden müssen. Nachhaltigkeit in der Siedlungswasserwirtschaft bedingt, dass Stoffkreisläufe vermehrt geschlossen werden und dass gleichzeitig Vermeidungsstrategien mehr Gewicht beigemessen wird. Die Kleinkläranlage im Keller eines Solothurner Wohnhauses ist ebenso Beispiel dafür wie die Optimierung der Quartierkompostierung in Bangladesch. Die Eawag intensiviert aber auch ihre Forschung zu Mikroverunreinigungen des Wassers. Ein neues Projekt im Handlungsfeld Siedlungswasserwirtschaft beschreibt und quantifiziert, wie Biozide aus Fassadenfarben und Verputzen ausgewaschen werden und in die Gewässer gelangen.

## Trinkwasserqualität garantieren

Trinkwasser wird immer höheren Qualitätsanforderungen unterworfen. Zum einen werden neue Spurenstoffe in den Wasserressourcen gefunden, zum andern gibt es eine Reihe von Parametern, die bislang nur schlecht untersucht sind. Dazu gehören etwa Geschmack und Geruch des Trinkwassers, Viren und Nanopartikel. Natürliches organisches Material beeinflusst die Wasseraufbereitung, der assimilierbare organische Kohlenstoff wirkt sich auf die biologische Stabilität des Trinkwassers aus. Im Rahmen des Querprojekts Wave21 (Wasserversorgung im 21. Jahrhundert) untersucht die Eawag diese Parameter entlang von verschiedenen Aufbereitungsstufen (Membranfiltration, Oxidation, Aktivkohlefiltration), um eine Basis für die anstehende Erneuerung von Wasserwerken in der Schweiz zu haben. Das Ziel ist eine sehr gute Wasserqualität, damit Trinkwasser mit möglichst geringen Konzentrationen an Desinfektionsmitteln ins Verteilnetz abgegeben werden kann. Denn die Akzeptanz für «Chlorgesmack» ist in der Bevölkerung klein. Auch Medienberichte über eine Bedrohung des wichtigsten Lebensmittels können den Trinkwasserkonsum beeinflussen – ein Mechanismus, den die Eawag in einem weiteren Projekt verfolgt.





# Systematisch nachdenken Zukunft über die der Siedlungswasserwirtschaft

**In welche Richtung wird sich die Schweizer Siedlungswasserwirtschaft bewegen? Von welchen Szenarien nimmt man in Betrieben und Verwaltung an, dass sie eintreten könnten? Mit Interviews von Experten und zwei Workshops haben wir an der Eawag mögliche Entwicklungen ausgelotet und Zukunftsszenarien ausgearbeitet. Das bisher im wissenschaftlichen Umfeld noch wenig genutzte Verfahren erlaubt es, im konstruktiven Dialog mit der Praxis die Forschungsprioritäten bewusst zu setzen.** Judit Lienert, Bernhard Truffer

Die Siedlungswasserwirtschaft ist vermehrt mit Unsicherheiten konfrontiert. Neue Technologien werden praxisreif, die Nachfragesituation ändert sich rasch, neue Problemstoffe tauchen auf – alles Herausforderungen, die in einem zunehmend unsicheren gesellschaftspolitischen Umfeld bewältigt werden müssen. Genaue Zukunftsprognosen werden schwierig. Anstatt die heutigen Bedingungen einfach linear in die Zukunft zu projizieren, können mit Hilfe von «Foresight-Methoden» mögliche Zukunftssituationen skizziert werden. Es geht dabei nicht um die Abgabe genauer Prognosen, sondern um ein systematisches Nachdenken über das, was passieren *könnte*, wenn gewisse Veränderungen eintreten *würden*. Die Kernfrage in der von uns durchgeführten Zukunftsanalyse Siedlungswasserwirtschaft lautete: «Wie *kann* sich die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft in 25 bis 30 Jahren entwickeln, so dass auch langfristig eine nachhaltige Wasser- und Abwasserentsorgung gewährleistet ist?»

## Drei Zukunftsszenarien skizziert

Mit Literaturrecherchen und 29 Experteninterviews wurden 120 Faktoren identifiziert, welche für die Siedlungswasserwirtschaft zukunftsweisend sein könnten. In einem systematischen Prozess wurden 15 gewählt, welche von den Experten als äusserst relevant beurteilt wurden, deren Entwicklung aber am wenigsten gut einzuschätzen ist (Box Seite 28). Mit diesen 15 Faktoren wurden in zwei Workshops mit Teilnehmenden aus Forschung und Praxis drei mögliche «Zukünfte» skizziert.

**Szenario A: Regionale Zusammenschlüsse:** Die heute stark fragmentierte schweizerische Siedlungswasserwirtschaft wird in 25 bis 30 Jahren viel weniger Unternehmen umfassen: Durch regionale Zusammenschlüsse entstehen aus rund 4000 neu 300–350 Unternehmen. Dies ermöglicht eine stärkere Professionalisierung von Unternehmensfunktionen wie strategische Planung und Infrastruktur-, Finanz- und Innovationsmanagement. Einzelne Aufgaben sind an private Firmen ausgelagert, aber die meisten Unternehmen bleiben in öffentlicher Hand. Der Effizienzdruck und die gesellschaftlichen Anforderungen steigen. Die Finanzierung ist aber nicht gefährdet; alle wichtigen Investitionen werden getätigt.

Oben: Der von der Eawag begleitete Versuch mit einer Kleinkläranlage im Keller eines Einfamilienhauses zeigt mögliche neue Wege für die Siedlungswasserwirtschaft (Bild: Patrick Lüthy). Unten: Rund 100 Milliarden Franken stecken in der Schweizer Infrastruktur zur Siedlungsentwässerung. Der Unterhalt der Anlagen ist aufwändig (Bild: Entsorgung + Recycling Stadt Zürich).

- ▶ Marktdurchdringung von dezentralen Technologien
- ▶ Separierung von Teilströmen im Abwassermanagement
- ▶ Finanzielle Gesundheit der Wasserunternehmen
- ▶ Neue Anreiz- und Finanzierungsmodelle der SWWW
- ▶ Intensität des Wettbewerbs in der SWWW
- ▶ Veränderung von Einleitungsbestimmungen für gereinigtes Abwasser
- ▶ Flussgebietsbezogene Bewirtschaftung von Wasserressourcen
- ▶ Regionalisierung durch Zusammenschlüsse / Zweckverbände
- ▶ Innovationsoffenheit und Flexibilität
- ▶ Gesellschaftliche Anforderungen an die SWWW
- ▶ Bedeutung von Mikroverunreinigungen in Wasser / Abwasser
- ▶ Forschung als Innovationsmotor für neue Technologien
- ▶ Anthropogene Umwelteinflüsse
- ▶ Professionalisierung des Stoffstrommanagements
- ▶ Wassermengenprofil

Die 15 ausgewählten Faktoren zur Entwicklung der Szenarien;  
SWWW = Siedlungswasserwirtschaft.

### Szenario B: Konsequentes Stoffstrommanagement:

Der politische Druck, mit natürlichen Ressourcen schonend umzugehen und Stoffkreisläufe zu schliessen, nimmt stark zu. Die Spirale «neue oder neu erkannte Problemstoffe – Einleitbedingungen verschärfen – Kläranlagen erweitern» soll durchbrochen werden. Dies wird durch eine zunehmende Bedeutung von Mikroverunreinigungen (z. B. Pharmazeutika, Pestizide) oder hygienischen Parametern (z. B. Kryptosporidien) begünstigt. Neue, dezentrale Technologien kommen zur Marktreife und treffen auf eine wachsende Nachfrage. Dies fördert eine radikal neue Siedlungswasserwirtschaft, insbesondere die Entwicklung von kanalisationslosen Entsorgungssystemen. Zentrale Technologien bleiben aber wichtig; es kommt zu einem Nebeneinander von zentralen und dezentralen Systemkomponenten. Trotz hohem Effizienzdruck bleibt das System stabil.

**Szenario C: Finanzielle Krise:** Die Einnahmen und Ausgaben der Wasser- und Abwasserunternehmen klaffen auseinander. Die behördlichen Auflagen zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen und die Anforderungen an die Wasserqualität (z. B. Badewasser) steigen. Aufgeschobene Ersatzinvestitionen führen zu einem rasant ansteigenden Finanzbedarf. Zusätzlich führt eine starke Verbreitung von dezentralen Technologien zu einem markanten Rückgang des Wasserverbrauchs und des Abwasseraufkommens. Es kommt zu massiven Ertragseinbußen, weil die Unternehmen die Tarife nicht genügend anheben können, was schliesslich zur finanziellen Krise und zu einem Zusammenbruch der zentralen Dienstleistungen führt.

### Auf Zukunftstauglichkeit prüfen

Die Szenarien dürfen nicht als Prognosen verstanden werden. Es sind *mögliche* Entwicklungen, die massive Auswirkungen auf die Siedlungswasserwirtschaft haben könnten. Wasser- und Abwasserunternehmen können aber mit ihrer Hilfe die Zukunftsfähigkeit konkreter Massnahmen überprüfen. An der Eawag benutzen wir die Szenarien zur Ableitung von Forschungsprioritäten. Dazu diskutierten die Teilnehmenden strategische Projekte, die schon heute initiiert werden müssten, wenn man wüsste,

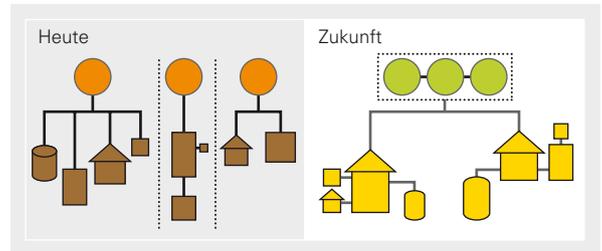


Abb. 1: Regionale Zusammenschlüsse (Szenario A): Heute ist die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft durch eine sehr kleinräumige Organisationsstruktur geprägt. In Zukunft sitzen alle wichtigen Akteure an einem Tisch und entwickeln gemeinsam effiziente Lösungen, die regional koordiniert sind. Sie zielen mehrheitlich auf das heutige System mit zentralen Ver- und Entsorgungseinheiten ab, aber auch neue, lokal angepasste Konzepte wie dezentralisierte Abwasserreinigung in kleineren Siedlungen sind möglich.

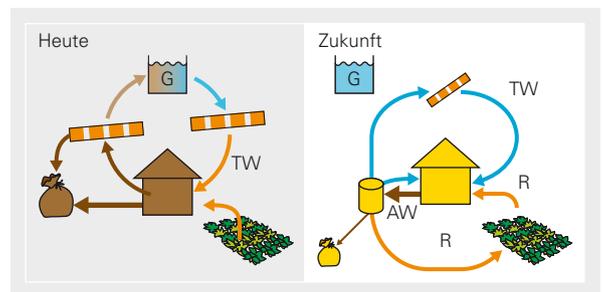


Abb. 2: Konsequentes Stoffstrommanagement (Szenario B): Die heutige Siedlungswasserwirtschaft operiert mit aufwändigen Barrieren zwischen Abwasserproduktion (AW), Gewässern und Grundwasser (G) sowie Trinkwasserversorgung (TW); die Ressourcen (z. B. Nährstoffe, R) werden nicht genutzt, sondern belasten als Abfall Kläranlagen und Umwelt. In der Zukunft werden Abwasserteilströme getrennt, Kreisläufe geschlossen und Ressourcen wieder genutzt. Dadurch wird die zentrale Abwasserreinigung zunehmend überflüssig. Die Barrieren können klein und lokal gehalten werden. Teilverwirklichung ab 30 Jahren, Durchsetzung ab 50+ Jahren.

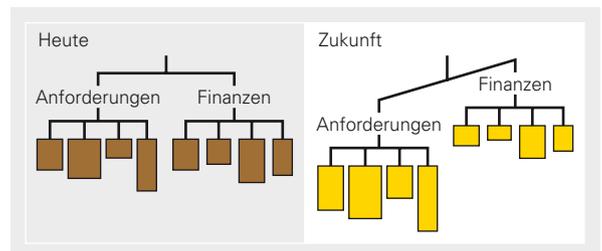


Abb. 3: Finanzielle Krise (Szenario C): Die Siedlungswasserwirtschaft ist in Schieflage geraten. Die Anforderungen an den Systembetrieb steigen (Verschärfung der Einleitbedingungen, Werterhaltung des bestehenden Systems, Einführung neuer, dezentraler Systeme etc.); die finanzielle Absicherung ist aber ungenügend (ungenügende Rückstellungen, sinkende Erträge etc.). Diese missliche Lage könnte durch organisatorische Effizienzsteigerungen und eine Professionalisierung ausgeglichen werden, was jedoch nicht passiert.

## Beispiel Werdhölzli

Kläranlagen werden heute für eine Lebensdauer von 20 bis 30 Jahren geplant und dimensioniert. Doch die Entwicklung wichtiger Rahmenbedingungen lässt sich für diese lange Zeitspanne oft nicht ausreichend abschätzen. Wie dynamisch die Entwicklung ablaufen kann, zeigt das Beispiel der Zürcher Kläranlage Werdhölzli (Bild). Aus der 1985 in Betrieb genommenen nitrifizierenden, zweistufigen Anlage wurde über die Jahre eine einstufige Anlage, die zusätzlich denitrifiziert und das Abwasser der inzwischen aufgegebenen Kläranlage Glatt (Zürich Nord) sowie Enteisungsabwasser aus dem Flughafen behandelt. Die Leistungssteigerung wurde ohne teure bauliche Anpassungen erreicht, mit dem Aufgeben der Vorstufe wurde sogar Beckenvolumen für andere Zwecke frei. Treibende Kräfte waren Entwicklungen im Einzugsgebiet und in der Gesetzgebung. So führte z. B. 1993 die angekündigte gesetzliche Bestimmung, Stickstoff in Kläranlagen zu eliminieren, zur Abtrennung eines Teils des belüfteten Beckenvolumens für

die Denitrifikation. Andererseits war diese Abtrennung nur möglich, weil die Kapazitätsreserven der Anlage seit Inbetriebnahme ständig gewachsen waren, unter anderem durch die kontinuierliche Elimination von Fremdwasser aus dem Kanalnetz und den Rückzug der Industrie aus Zürichs Stadtbild. Sind jedoch die Umstände weniger glücklich, kann die Anpassungsfähigkeit von Anlagen an neue Bedingungen rasch an Grenzen stossen. Denn traditionelle Planungs- und Dimensionierungsansätze berücksichtigen eine solche langfristige Dynamik und die daraus resultierende Zukunftsunsicherheit nicht. Mit Szenarioanalysen können sie systematisch mit einbezogen werden. Investitionsalternativen können dann vor dem Hintergrund der entwickelten Szenarien bewertet werden [3]. *Damian Dominguez*



Eawag

dass ein bestimmtes Szenario wirklich eintreffen würde. Keines der drei Szenarien wurde an den Workshops als blosse Gedankenspielerlei abgewertet. Als wahrscheinlichste Entwicklung bewerteten die Expertinnen und Experten Szenario A (Abb. 4).

## Forschung und Praxis: Neue Rollenteilung

Die wichtigste Schlussfolgerung unserer Arbeit ist, dass eine tragfähige Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft die Perspektive von Praxis und Forschung berücksichtigen muss. Um Effizienzpotenziale wahrzunehmen, muss das bestehende System Schritt für Schritt optimiert werden. Diese Professionalisierung muss aber auch die Folgen radikal neuer Systemoptionen einschliessen. Dafür braucht es eine neue, zukunftsorientierte Rollenteilung zwischen Forschung und Praxis: Zum einen muss der Bedarf der Praxis nach effizienteren Organisationsformen auf der Forschungsseite durch den Aufbau sozialwissen-

schaftlicher Kompetenzen ergänzt werden. Zum andern muss die ingenieurtechnische Untersuchung von Systemveränderungen in der Praxis auf ein professionalisiertes Innovationsmanagement treffen. Damit sollte die schweizerische Siedlungswasserwirtschaft auch für Zeiten stark zunehmender Unsicherheiten bereit sein.

Die Szenariomethodik wurde in den 1950er und 1960er Jahren entwickelt und gehört zum Standardrepertoire grösserer Firmen (z. B. Shell). Im Infrastrukturbereich ist sie aber wenig bekannt. Ausnahme ist ein deutsches Forschungsprojekt über Nachhaltigkeitsstrategien für die Sektoren Strom, Gas, Wasser und Telekommunikation [4]. Unsere Studie zeigt, dass die Siedlungswasserwirtschaft von Strategieformulierungen mit Hilfe solcher Ansätze profitieren könnte. Der strukturierten Diskussion eines komplexen Problems zwischen stark unterschiedlichen Akteuren wurde ein hoher Lerneffekt attestiert. ○ ○ ○

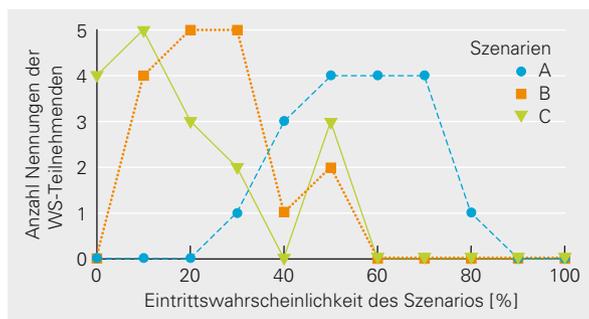


Abb. 4: So beurteilen die Workshop-Teilnehmenden die Eintretenswahrscheinlichkeit der Szenarien. Am höchsten bewerten die Expertinnen und Experten das Szenario A. Alle drei wurden aber grundsätzlich als plausibel eingeschätzt.

- [1] Lienert J., Monstadt J., Truffer B. (2006): Future scenarios for a sustainable water sector – a case study from Switzerland. *Environmental Science and Technology* 40 (2), 436–442.
- [2] Truffer B., Lienert J., Monstadt J. (2005): Zukünfte der Siedlungswasserwirtschaft – Eine Szenarioanalyse für die Schweiz. *gwa (Gas Wasser Abwasser)* 9/2005, 695–702.
- [3] Dominguez D., Gujer W. (2006): Evolution of a Wastewater Treatment Plant challenges traditional Design Concepts. *Water Research* (accepted).
- [4] Voss J.-P., Truffer B., Konrad K. (2005): Sustainability Foresight für Versorgungssysteme. In: Meyerhoff, J., Nill, J. (Hrsg.) *Jahrbuch Ökologische Ökonomie 4 – Innovationen und Nachhaltigkeit*. Metropolis, Marburg, 175–200.

# Optimiertes Wassermanagement in der weltweiten Nahrungsmittelproduktion

**Eine möglichst genaue Abschätzung des Verhältnisses zwischen aufgewendeten Wasserressourcen und Erträgen aus dem Ackerbau unterstützt die Optimierung eines integralen Wassermanagements. Ein an der Eawag entwickeltes Modell kombiniert erstmals herkömmliche Simulationen mit einem geografischen Informationssystem und erlaubt damit regional differenzierte Aussagen.** Hong Yang, Junguo Liu, Alexander Zehnder

**Muss Wasser neu verteilt werden, unterstützt unser Modell Entscheidungen.**

Weltweit wird für die Beziehung zwischen der Nahrungsmittelproduktion und dem dafür verbrauchten Wasser die so genannte «crop water productivity» herbeigezogen (CWP, angegeben in kg Ernte pro m<sup>3</sup> Wasser).

Die bisher angewendeten Methoden, diese Grösse abzuschätzen, stellen jedoch keine ausreichende Auflösung zur Verfügung und sind räumlich begrenzt. Um die Lücke zu füllen, haben wir ein Erntewachstumsmodell mit einem geografischen Informationssystem kombiniert. Entstanden ist das Programm GEPIC durch eine lockere Kopplung aus EPIC (Environmental Policy Integrated Climate bzw. Erosion Productivity Impact Calculator) und ArcGIS (Abbildung).

## Gute Übereinstimmung mit FAO-Statistik

Wir haben den Ertrag und die CWP für Weizen mit unserem Modell in einer Auflösung von 30 Bogenminu-

ten (entspricht am Äquator rund 50 x 50 km) simuliert. Die gute Übereinstimmung zwischen simulierten Erträgen und der FAO-Statistik (Food and Agriculture Organization) in 102 Ländern über 10 Jahre (1995–2004) stellt die Leistungsfähigkeit des Modells unter Beweis. Die grossen Schwankungen je nach geografischer Lage sind das Ergebnis vieler Faktoren, welche das Pflanzenwachstum beeinflussen: Verfügbarkeit von Wasser zum Zeitpunkt, wenn es am meisten benötigt wird, Bodenfruchtbarkeit, Düngung, allgemeine klimatische Bedingungen, Bewirtschaftung der Felder etc. Wir simulierten auch das Potenzial für Ertrag und CWP bei einer ausreichenden Versorgung mit Dünger und Wasser. Die Ergebnisse zeigen, dass die Weizenproduktion in vielen afrikanischen Ländern mit verstärkter Düngung und einer besseren Wasserbewirtschaftung wesentlich gesteigert werden kann. Dagegen ist die Differenz zwischen erreichtem und möglichem Ertrag bzw. die Möglichkeit einer Steigerung der CWP in den meisten europäischen Ländern relativ klein. Wasser und Dünger stehen hier offensichtlich heute schon nahezu optimal zur Verfügung.

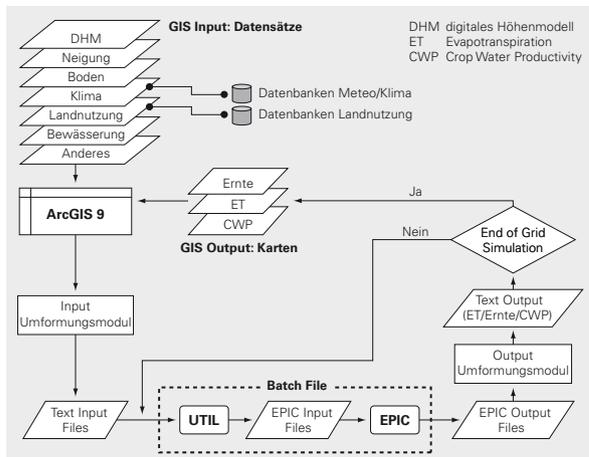
## Anwendung des Modells in Chinas Brotkorb

In der nordchinesischen Ebene – dem «Brotkorb Chinas» – ist heute die Bewässerung der grösste Wasserverbraucher. Doch die Ressource Wasser steht zunehmend unter Druck. Eine Neuverteilung mit mehr Gewicht für die urbanen Räume ist unvermeidlich geworden. Wir haben mit dem GEPIC-Modell abgeschätzt, wie sich Änderungen der Wassersituation auf die Produktion von Winterweizen in dieser Region auswirken. Dazu wur-



Die Getreideproduktion ist in der nordchinesischen Ebene der grösste Wasserverbraucher.

de die räumliche Auflösung der Simulation auf 5 Bogenminuten vergrössert (rund 9 x 9 km am Äquator). Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verminderung der Bewässerung um 5–20% (ohne das bewässerte Gebiet zu ändern) zu einer Verminderung der Winterweizenproduktion zwischen 2,5–8,5% führen könnte. Zum Vergleich: Würde das heute bewässerte Gebiet um 5–20% reduziert und dort nur so viel produziert, wie mit den natürlichen Niederschlägen möglich ist, würde das die Winterweizenproduktion um 4–14% schmälern. Dieselbe Reduktion der Bewässerungswassermenge kann also verschiedene Auswirkungen auf die Produktion von Winterweizen haben. Solche Informationen sind für die Entscheidungsträger beim Ausarbeiten von Strategien zur optimalen Wasserzuteilung zwischen den verschiedenen Sektoren in der Region nützlich. ○ ○ ○



Schematische Darstellung der Kombination von EPIC (Erntesimulation im Ackerbau) mit dem geografischen Informationssystem ArcGIS.

Williams J.R., Jones C.A., Kiniry J.R., Spanel D.A., (1989): The EPIC crop growth model. Trans. ASAE 32, 497–511.

# Nanoteilchen: Je kleiner, desto häufiger

**Nanopartikel sind in Gewässern in sehr hoher Zahl vorhanden. Eine Klassierung zeigt: Je kleiner die Teilchen, desto häufiger sind sie. Und trotz aufwändiger Aufbereitung finden sie sich auch im Trinkwasser. Die Eawag untersucht Struktur und Chemie dieser Nanoteilchen, um Aufbereitungsverfahren neu beurteilen zu können.** Wouter Pronk, Brian Sinnet, Ralf Kägi, Markus Boller

Partikuläre Stoffe im Trinkwasser sind unerwünscht. Sie können Aufbereitungsprozesse beeinflussen oder adsorbierte, toxische Substanzen mittragen. Abhängig von der Qualität der genutzten Trinkwasser-Ressourcen werden Partikel daher in mehr oder weniger aufwändigen Verfahren abgetrennt. Die moderne Partikelanalytik erweist sich dabei als hilfreiches Instrument, die Teilchen bis in den Nanometerbereich (kleiner 1  $\mu\text{m}$ ) zu charakterisieren und die Wirkung der technischen Massnahmen neu zu beurteilen.

## Mehr erfahren über Herkunft

Mit Partikelzählern lassen sich Verteilung und Anzahl der Partikel bestimmen, die grösser als 500 nm sind (1 nm = 1 milliardstel Meter). Neuere Studien weisen darauf hin, dass die noch kleineren Partikel zahlenmässig dominieren. Messungen mit der LIBD-Methode (Laser induzierte Breakdown Detektion) bestätigen diesen Befund (Abb. 1). Weil sie so

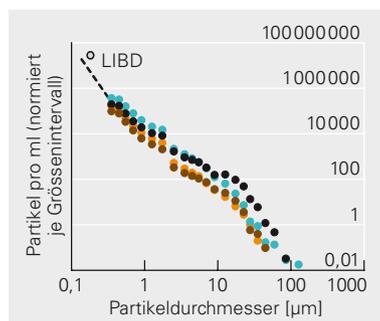


Abb. 1: Partikelhäufigkeitsverteilung im Rohwasser verschiedener Wasserversorgungen am Boden- und Zürichsee sowie eine Messung der Nanoteilchenzahl mittels LIBD im Bodensee. Die Zahl der Teilchen grösser 10  $\mu\text{m}$  liegt maximal bei rund 100 Partikeln pro ml. Dagegen sind von Teilchen kleiner 1  $\mu\text{m}$  rasch 10 000 und mehr pro ml anzutreffen.

klein sind, ist es sehr schwierig, Nanopartikel aus dem Trinkwasser zu entfernen. Rasterelektronenmikroskop (REM) und Kraftmikroskop (AFM) erlauben es, die Teilchen morphologisch und chemisch zu untersuchen. Abb. 2 zeigt ein solches Nanoteilchen. Es handelt sich dabei um ein Aggregat von mehreren, je rund 50 nm grossen «Primärpartikeln». Solche Bilder können Hinweise geben auf Entstehung und Herkunft der Partikel.

## Auch nach Aufbereitung noch da

In einer Kampagne wurden verschiedene Prozesse der Trinkwasseraufbereitung beprobt. Die Partikel wurden filtriert und mit dem REM untersucht. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung wurden die anor-



Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopaufnahme eines Nanopartikels im Rohwasser. Das Partikel besteht aus einer Vielzahl von agglomerierten «Primärpartikeln» mit einem Durchmesser von rund 50 nm.

ganischen Partikel in verschiedene Klassen eingeteilt. Bei den groben Partikeln (>1  $\mu\text{m}$ ) handelt es sich vor allem um Kalziumkarbonate. Die Anzahl dieser Partikel nimmt im Laufe der Trinkwasseraufbereitung rapide ab. Im Weiteren wurden Tonminerale gefunden, jedoch in nur sehr geringer Anzahl.

Die Zusammensetzung der anorganischen Teilchen <300 nm ist noch unklar. Erste Messungen weisen aber darauf hin, dass sie auch im aufbereiteten Trinkwasser noch vorhanden sind. In weiterführenden Studien sollen nun Zahl und Zusammensetzung von Nanopartikeln in verschiedenen Trinkwasserversorgungen eingehender untersucht werden. ○ ○ ○

## Über Nanopartikel im Trinkwasser ist noch wenig bekannt.

Pronk W., Sinnet B., Meylan S., Boller M. (2005): Characterization of Nano- and Microparticles in Swiss Surface Waters and their Role in Potable Water Production. Proceedings of the IWA Particle Separation Conference, June 1–3, 2005, Seoul, Korea.

# Wasser in Kunming: Innovation gefragt

**Eine Analyse der Situation in Zürichs Partnerstadt Kunming zeigt, dass nur ein Viertel des Abwassers gereinigt wird. Aber auch die neueste Reinigungstechnologie würde nicht genügen, die Phosphorfracht in den Dianchi-See ausreichend zu reduzieren.** Hans-Peter Bader, Ruth Scheidegger, Willi Gujer, Roland Schertenleib, Dongbin Huang

Obschon Massnahmen ergriffen werden, nimmt die Wasserqualität in Entwicklungs- und Schwellenländern vielerorts ab. Eines der Probleme ist die Überdüngung (Eutrophierung) der Gewässer als Folge des raschen Bevölkerungswachstums, der Änderung des Lebensstiles und des schlechten Abwassermanagements. Ausserdem ist nicht klar, ob die Probleme mit der heute zur Verfügung stehenden Abwasserbehandlungstechnik überhaupt gelöst werden können.

## Der aktuelle Phosphoreintrag in den See übertrifft den Toleranzwert um das 25fache.

Modelle helfen, den Ist-Zustand der Abwassersituation zu analysieren und mögliche Verbesserungsmaßnahmen zu simulieren. Das Abwasser der chinesischen Stadt Kunming (2,4 Millionen Einwohner) und aus der umliegenden Landwirtschaft wird in den Dianchi-See eingeleitet. Dieser untiefe See dient sowohl als Wasserreservoir als auch dem Tourismus. Doch mit dem Abwasser werden ihm zu viele Nährstoffe, vor allem Phosphor zugeleitet. Unser Projekt (ein Teilprojekt von Novaquatis) sollte daher aufzeigen, woher welche Nähr-

stofffrachten kommen und welche Massnahmen die heutige Situation verbessern könnten. Wir entwickelten dazu ein einfaches Stoffhaushaltsmodell für die Wasser-, Stickstoff- und Phosphorflüsse.

Die Abbildung zeigt die berücksichtigten Grössen: Abwasser aus den Haushalten und der Industrie, Abchwemmungen von Strassen und Dächern sowie Fremdwasser und Infiltration. Das Abwasser wird in der Kanalisation gesammelt und entweder in einer der sechs Abwasserreinigungsanlagen (ARA) gereinigt oder über Entlastungen ungereinigt dem See zugeleitet. Im Modell werden diese Prozesse mit der anteilmässigen Aufteilung des Wasserflusses beschrieben.

Die wenigen vorhandenen lokalen Daten wurden ergänzt durch Werte aus der Literatur sowie Referenzdaten aus Zürich. Die grösste Unsicherheit besteht beim Fremdwasseranteil. Dieser wurde mit Hilfe von Stichproben der Schmutzstoffkonzentrationen im ARA-Zulauf und übertragenen Vergleichsmessungen aus Zürich abgeschätzt.

Als Hauptresultate ergaben sich:

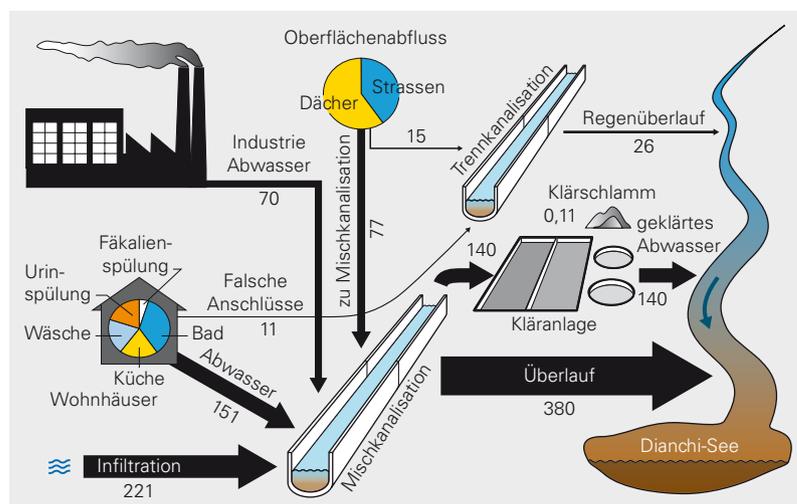
► Nur rund 25 % des Abwassers werden gereinigt, 75 % gelangen direkt in den Dianchi-See.

► Der Fremdwasseranteil ist mindestens gleich hoch wie die Summe des Abwassers aus Haushalten und Industrie.

► Die aktuell in den See eingetragene Phosphorfracht von rund 1600 t/Jahr ist gut 25-mal höher als die Toleranz von 60 t/Jahr. Auf diesen Wert schätzen Grey und Li [2] die Fracht, die eine Wasserqualität erlauben würde, wie sie 1960 vorlag.

Würde Kunmings Abwassersystem auf den heutigen Stand der Technik gebracht, müssten die Infiltration verringert, falsche Anschlüsse eliminiert sowie genügend grosse Kapazität und beste Reinigungstechnik in den ARA geschaffen werden. Wir haben simuliert, wie sich das auswirken würde: Die Phosphorfracht aus der Stadt könnte zwar in die Grössenordnung der Toleranzschwelle gesenkt werden. Doch das würde für eine Gesundung des Sees nicht ausreichen, wenn man den Eintrag aus der Landwirtschaft und die Wachstumspläne der Stadt (auf 4 Millionen Einwohner) mit berücksichtigt.

Kunming wird daher eine Kombination innovativer Massnahmen – darunter auch den Einbezug der Urinseparierung – prüfen müssen. Erste Schritte in diesem Prozess hat die Eawag in einem weiteren Novaquatis-Projekt eingeleitet ○ ○ ○



Wasser und Abwasser in Kunming (Zustand 2000). Angaben in Mio. m<sup>3</sup>/Jahr.

[1] Huang D., Bader H.-P., Scheidegger R., Schertenleib R., Gujer W. (2005): Confronting Limitations: new solutions required for urban water management in Kunming City. Accepted in Journal of Environmental management.

[2] Grey A.V., Li W. (1999): Case study on water quality modelling of Dianchi Lake, Yunnan Province, South West China. Water Science and Technology 40 (2), 35–43.

# Die Kläranlage im Keller

**Seit gut einem Jahr ist im Keller eines Einfamilienhauses in Zuchwil eine Kläranlage in Betrieb. Dahinter steckt die Idee, Abwasser möglichst nahe an der Quelle zu reinigen, auf Schmutzwasserkanalisationen zu verzichten sowie Nährstoff- und Wasserkreisläufe zu schliessen.** Christian Abegglen, Hansruedi Siegrist

In der Schweiz sind über 95% der Bevölkerung über eine Kanalisation einer Kläranlage angeschlossen. Das Abwasser der restlichen 3–4% wird nicht oder nur rudimentär gereinigt. Dank des technischen Fortschritts erbringen heute aber auch Kleinkläranlagen mit verhältnismässig günstigen Systemen eine deutlich bessere Reinigungsleistung als die bisher verbreiteten Lösungen. Dezentrale Systeme sind dabei nicht nur für abgelegene Einzelliegenschaften interessant. Sie könnten vielmehr auch grossflächig in bisher noch schlecht erschlossenen Gebieten eingesetzt werden, zum Beispiel in osteuropäischen Ländern. Oder sie bieten eine Alternative zu einem Kläranlagenausbau.

Durch die Kleinräumigkeit wird das Rezyklieren von Wasser und teilweise von Nährstoffen einfacher. Einsparungen durch den Verzicht auf lange Kanalisationsnetze ermöglichen es, mehr Geld in die Anlagentechnik und den Betrieb zu investieren. Mit einer Pilotanlage im Keller eines Einfamilienhauses in der Region Solothurn wollen wir die Chancen und Schwierigkeiten

sowie die Reinigungsleistung solcher Kleinsysteme abschätzen.

Ein Ziel des Projekts ist, die Anlage so zu optimieren, dass sie die gleichen Einleitbedingungen erfüllt wie eine zentrale Kläranlage. Bei den organischen Stoffen erreichen wir dies, wobei sich nicht abbaubare Stoffe durch die Kreislaufführung anreichern und dem recycelten Brauchwasser einen Gelbstich verleihen.

## Langer Weg zur Marktreife

Für die Stickstoff- und Phosphorelimination werden verschiedene Betriebsweisen getestet. In der Startphase wurde der erste Behälter als herkömmliche Vorklärung betrieben, wo sich ein grosser Teil der organischen Stoffe absetzt. Dadurch wird in der zweiten Einheit, im Membranbioreaktor, relativ wenig Schlamm produziert. Die Membranleistung bleibt über lange Zeit stabil, dafür entsteht Primärschlamm, der nur mit einem Saugwagen entsorgt werden kann. Zudem steht für die Denitrifikation zu wenig Substrat zur Verfügung, so dass die Stickstoffelimination nur



Patrick Lüthi

Eawag-Forscher Christian Abegglen (links) erläutert einem Journalisten die Hauskläranlage.

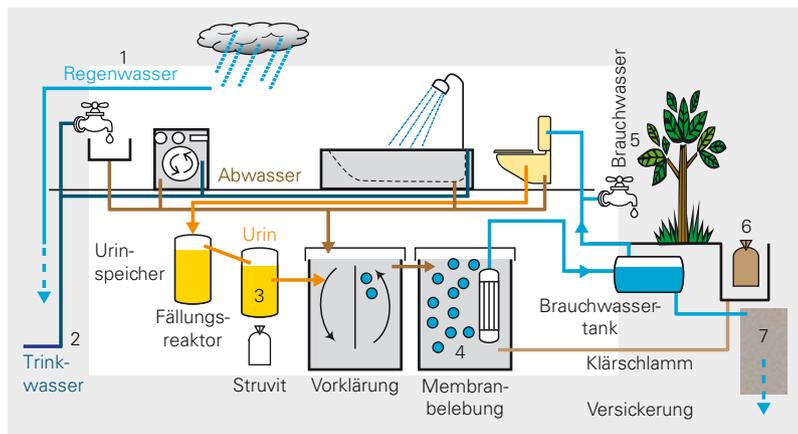
rund 50% erreicht. Auch die Einleitbedingungen für Phosphor konnten mit dieser Betriebsart nicht erfüllt werden.

Während einer zweiten Phase mischen und belüften wir nun den ersten Behälter. Das reduziert die Bildung geruchsintensiver Stoffe, fördert die Denitrifikation und ermöglicht eine biologische Phosphorelimination. Zudem ergibt sich aus dieser Betriebsart nur eine Sorte Klärschlamm. Dieser ist praktisch geruchsfrei und kann mit Filtersäcken an

Ort entwässert werden. Resultat ist aber eine höhere Schlammproduktion im Membranbioreaktor sowie eine etwas raschere Abnahme der Membrandurchlässigkeit.

Die Membrananlage ist seit gut einem Jahr in Betrieb, und die ersten Erfahrungen sind grösstenteils positiv. Die Optimierung des Betriebs, Lösungen für den Umgang mit Urinablagerungen oder dem gefärbten Recyclingwasser, aber auch stabile Werte für die Phosphorelimination sind Themen, die weitere Forschung nötig machen, bis aus dem «abwasserlosen Haus» eine marktfähige Lösung wird. ○ ○ ○

**Dezentrale Anlagen sind nicht nur für abgelegene Häuser interessant.**



Das abwasserlose Haus. 1: Regenwasser wird versickert. 2: Rund 30% Trinkwasser werden eingespart. 3: Aus dem Urin wird ein Phosphordünger gewonnen (die Urinseparierung wird in der Pilotanlage im Verlauf von 2006 realisiert). 4: Im Membranbioreaktor wird das Abwasser gereinigt, so dass es als Brauchwasser wieder verwendet (5) oder versickert werden kann (7). 6: Klärschlamm wird kompostiert.

# Dem lästigen Schaum zu Leibe rücken

**Zäher, biomassenreicher Schaum kann den Betrieb in Kläranlagen massiv beeinträchtigen und Gewässer verunreinigen. Wir konnten zeigen, dass die Prozesse der Schaumbildung ausgeprägt dynamisch verlaufen und die Feststoffe im Belebtschlamm eine dominante Rolle spielen. Schlämme aus Membrankläranlagen tendieren zudem stärker zur Schaumbildung als solche aus konventionellen Anlagen.**

Thomas Hug, Hansruedi Siegrist

## Eine Rückmischung von Schaum verstärkt das Problem.

Mit dem Ausbau der Kläranlagen zur Elimination von Nährstoffen tritt weltweit vermehrt ein stabiler Schaum auf, welcher eine sehr hohe Biomassekonzentration aufweist. Solche Schäume verursachen massive Betriebsbeeinträchtigungen, verlangen mehr Unterhaltsarbeiten und können die Gewässer verunreinigen. Es wird angenommen, dass der Schaum durch oberflächenaktive Stoffe und die Anlagerung von hydrophoben Partikeln – einzelne Bakterien und Belebtschlammflocken – an die Gasblasen stabilisiert wird. Obwohl das Phänomen seit Jahrzehnten bekannt ist, sind die entscheidenden Prozesse noch nicht vollständig identifiziert und verstanden. Zuverlässige Bekämpfungsstrategien fehlen. In einem mehrjährigen Forschungsprojekt wurden verschiedene Kläranlagen und Versuchsanlagen untersucht, wobei systematisch die in der Abbildung gezeigten Teilprozesse unterschieden wurden. Hierfür wurden auch eigene Methoden zur Quantifizierung der Bakterienpopulation und

des Schaumbildungspotenzials entwickelt.

## Mehr Schaum in Membrananlagen

Unsere Resultate brachten eine grosse Bedeutung der Dynamik der Prozesse an den Tag. Das wurde häufig zu wenig berücksichtigt. Zudem hatten in den untersuchten Anlagen die Bakterien, insbesondere *Microthrix parvicella*, entgegen den bisherigen Annahmen keinen Einfluss auf die Schaumbildung.

Aufzeigen konnten wir die dominante Rolle der partikulären Phase im Belebtschlamm gegenüber der Flüssigphase: Das Schaumbildungsvermögen ist nicht nur grösser bei erhöhter Feststoffkonzentration, sondern hängt offensichtlich auch von unbekanntem Oberflächeneigenschaften der Belebtschlammflocken ab. So ist das Schaumbildungsvermögen von Biomasse aus der Schaumschicht sowie von Schlämmen in Membrankläranlagen deutlich grösser als von Belebtschlamm aus konventionellen Anlagen.

## Massnahmen einplanen

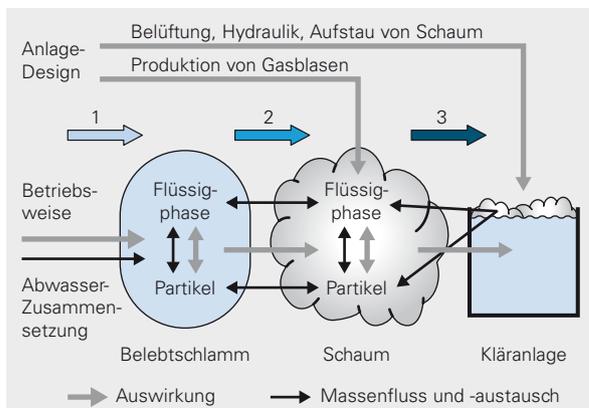
Bekämpfungsstrategien sollten sich daher darauf konzentrieren, den Schaum laufend zu entfernen. Das hält nicht nur das Problem klein, sondern verhindert die Rückmischung von stärker schäumender Biomasse in den Belebtschlamm und entfernt die unerwünschten Bakterien selektiv. Als «Notfallmittel» können Polymere zugegeben werden, welche das Schaumbildungspotenzial des Schlammes deutlich reduzieren. Um in modernen, Nährstoff eliminierenden Kläranlagen sowie in den aufkommenden Membrananlagen negative Folgen des Schaums und das Schaumbildungspotenzial des



Die zähen Schäume auf den Becken der Kläranlagen enthalten eine hohe Konzentration an aufschwimmender Biomasse.

Belebtschlamm zu mindern, sollten vermehrt Massnahmen eingeplant werden. Beispiele dazu sind:

- ▶ Gewährleisten der einfachen Zugänglichkeit für Reinigung,
- ▶ Sicherung eines genügend hohen Freibordes der Reaktoren,
- ▶ Vermeidung von Trennwänden, an denen Schaum aufgestaut werden kann,
- ▶ Einsatz von Sauerstoffsonden, die weniger anfällig sind auf Verschleimung,
- ▶ nachträglicher Einbau einer Chemikaliendosierung oder von Wassersprays.



Mechanismen der Schaumbildung mit den Teilprozessen: (1) Bildung eines schäumenden Schlammes, (2) Schaumbildung und -stabilisierung, (3) Akkumulation und Verteilung des Schaums in den Klärbecken.

Hug T. (2006): Characterization and controlling of foam and scum in activated sludge systems. Dissertation Eawag und ETH, Diss ETH Nr. 16506.

Hug T., Ziranke M., Siegrist H. (2005): Dynamics of population and scumming on a full-scale wastewater treatment plant in Switzerland. *Acta hydrochimica et hydrobiologica* 33 (3), 216–222.

Hug T., Gujer W., Siegrist H. (2005): Rapid quantification of bacteria in activated sludge using fluorescence in situ hybridization and epifluorescence microscopy. *Water Research* 39 (16), 3837–3848.

# Kompostieren stärkt Nachhaltigkeit

**Dass man organische Abfälle kompostieren kann, ist in Entwicklungsländern eher unbekannt. Doch gerade in urbanen Gebieten wäre dies von grossem Vorteil. Vereinzelt gibt es bereits Initiativen, nur sind diese selten vernetzt. Die Eawag begleitete verschiedene Kompostanlagen über mehrere Jahre und fördert nun mit der Internet-basierten «decomp database» den Informationsaustausch.** Chris Zurbrügg und Silke Drescher

Gerade in urbanen Gebieten, wo die Abfallentsorgung eines der grössten Probleme darstellt, ist die Möglichkeit, organische Abfälle zu kompostieren, kaum verbreitet. Dies obwohl Siedlungsabfälle mit einem organischen Anteil von 60–80% ein enormes Potenzial für die Kompostierung besitzen. So könnten quartiernahe Kompostanlagen einen wichtigen Beitrag zur Sauberkeit in den Quartieren leisten. Sie entlasten nicht nur die oft überforderte Abfalleinsammlung, sondern auch die unkontrollierten und ohnehin überfüllten Deponien. Zudem würden die intensiv genutzten und ausgelaugten Böden der urbanen Landwirtschaft von einer Nährstoff- und Humusrückführung profitieren.

Einige Personen und Organisationen in Entwicklungsländern leisten bereits Pionierarbeit und setzen sich für die Verbreitung der Kompostierung auf Quartierebene ein. Diese Aktivitäten sind jedoch nur selten bekannt, und viele kämpfen – häufig ohne voneinander zu wissen – mit den gleichen Problemen. Sandec, die Ab-

teilung der Eawag für Siedlungshygiene in Entwicklungsländern, will hier Abhilfe schaffen.

## Innovative Vermarktungsstrategien fördern

Einerseits wurden individuelle Erfahrungen aus verschiedenen Kontinenten zusammengetragen und analysiert und zusammen mit lokalen Partnern neue Lösungsansätze getestet. Ein Beispiel dafür ist die Quartierkompostierung in Dhaka, Bangladesch, die von der Organisation «Waste Concern» betrieben wird. Dank der fachlichen Unterstützung durch die Eawag wurden Konzept und Anlage mehrere Jahre überwacht und optimiert. Die Nährstoffanreicherung und der Vertrieb des Komposts durch einen Düngemittelbetrieb erwiesen sich als erfolgreiche Marketingstrategie. Aufgrund der gestiegenen Nachfrage entstanden weitere Kompostanlagen in Bangladesch.

## Voneinander lernen

Andererseits stellt Sandec mit der «decomp database» eine neue Infor-



Erfahrungs- und Informationsaustausch zwischen Akteuren der dezentralen Kompostierung in Bangalore, Indien.

mationsplattform zur Verfügung. Die Internet-basierte Datenbank sammelt technische, organisatorische und finanzielle Daten zu dezentralen Kompostanlagen weltweit. Ziel ist es, die vorhandene Erfahrung in den einzelnen Ländern oder Regionen zu dokumentieren und an Interessierte weiterzugeben. Will beispielsweise eine indische Nicht-Regierungs-Organisation eine Kompostierungsinitiative starten und wissen, ob in ihrer Umgebung bereits eine Anlage besteht, kann sie sich vorab in der «decomp database» informieren. Daten können von jedermann in Englisch oder Französisch eingegeben werden. Eine regelmässige Überprüfung der Eingaben stellt die Aktualität der Datenbank sicher. Die Datenbank konzentriert sich auf Anlagen in Entwicklungsländern; um jedoch einen Nord-Süd-Austausch zu ermöglichen, werden im begrenzten Rahmen auch Kompostplätze aus Europa dokumentiert. ○ ○ ○

## Kompostieren verbessert die Hygiene in den Quartieren.



Fotos: Eawag

Die Quartierkompostierung in Dhaka, Bangladesch, ist ein geeigneter Ansatz, um organische Siedlungsabfälle in den Wertstoff Kompost umzuwandeln.

Zugriff auf die decomp database:  
<http://sandec.instanthost.ch>

# Sodis: So einfach und doch kein Selbstläufer

**Die solare Wasserdesinfektion «Sodis» ist zwar einfach, doch sie verbreitet sich nicht von selbst. Viele Strategien wurden schon angewandt, längst nicht alle sind im selben Mass erfolgreich. Eine sozialwissenschaftliche Studie in Bolivien zeigt auf, wie die Strategien von der betroffenen Bevölkerung, also den «Konsumenten», beurteilt werden.** Hans-Joachim Mosler

Solare Trinkwasserdesinfektion ist einfach und effektiv: Man füllt Plastikflaschen mit Wasser, legt sie für 6 Stunden an die Sonne, und schon hat man mikrobiologisch unbedenkliches Trinkwasser. Doch so einfach die Methode ist, sie verbreitet sich nicht von selbst. Es braucht eine tragfähige Strategie dafür. Eine Umfrage in 644 Haushalten in acht Untersuchungsgebieten in Bolivien erlaubt eine bessere Einschätzung, welche angepassten Wege im betreffenden Umfeld Erfolg haben könnten und wo Anstrengungen zur Verbesserung von Strategien nötig sind.

## Erfolg mit Gesundheitsmessen

Die Befragten konnten sich zu ihren Erfahrungen mit Sodis äussern und die Strategien nach verschiedenen Kriterien beurteilen. Auf Platz eins aller Verbreitungsstrategien ist die Gesundheitsmesse, ein Anlass, bei dem auf einem zentralen Platz Stände zu verschiedenen Gesundheitsthemen aufgestellt sind. Stärken der

Gesundheitsmesse sind, dass viele verschiedene Argumente vorgebracht werden und eine freundliche Atmosphäre mit «Pro Sodis»-Stimmung herrscht. Die Überzeugungskraft der Argumente sowie die Erfahrung, in den propagierten Meinungen auch die eigenen Meinungen wieder zu finden (= Ähnlichkeit), wurden von den Befragten als überdurchschnittlich hoch eingeschätzt. Eine Schwäche der Gesundheitsmesse ist, dass sie selten stattfindet.

Als zweitplatzierte Verbreitungsstrategie konnte sich das Eintreten lokaler Autoritäten für Sodis etablieren. Diese Personen werden vor allem bezüglich dem erwähnten Kriterium «Ähnlichkeit» hoch eingeschätzt. Man identifiziert sich also mit ihrer Haltung. Ebenfalls überdurchschnittlich hoch wurden Argumentqualität und -quantität sowie die Freundlichkeit bewertet. Sehr ähnlich beurteilt wurde das Engagement von Mitarbeitern lokaler Organisationen und Verbänden (NGO). Deren einziger Nachteil ist, dass sie in den Dörfern

weniger oft aktiv sind als die lokalen Autoritäten. Dieselbe Schwäche haben auch Verbreitungsaktivitäten in Schulen und durch lokale Promotoren – beide Wege wurden ansonsten recht positiv eingeschätzt. Lokale Promotoren könnten allerdings bezüglich Atmosphäre noch Boden gut machen. Sie wirken offenbar etwas formal.

## Radio und TV falsch eingesetzt?

Im Mittelfeld der Rangierung befinden sich die Propagierung von Sodis durch das Fernsehen, Frauengruppen, Mitarbeiter der nationalen Sodis-Organisation und Mütterzentren. Über TV werden die Leute zwar am häufigsten und mit genügend grosser Anzahl von Argumenten angesprochen; Argumentqualität, Atmosphäre und Freundlichkeit werden dem TV jedoch klar abgesprochen. Die Gruppen des Mittelfelds weisen leider nur noch punktuell Stärken auf. Schlusslichter in der Beurteilung sind das Radio, das ausser bei der Häufigkeit in allen Kriterien den schlechtesten Wert erzielte, und überraschenderweise die Gemeindeversammlung. Im Fall des Radios scheint eindeutig eine gründliche Überarbeitung der Radiosendungen angezeigt, bei den Gemeindeversammlungen liegt das Problem wohl eher bei der geringen Priorität der Aktivitäten für Sodis im Vergleich zu anderen Themen. ○ ○ ○

	Argumentqualität	Argumentquantität	Atmosphäre	Freundlichkeit	Ähnlichkeit	Pro-Sodis Mehrheit	Häufigkeit der Teilnahme	Rang
Gesundheitsmesse	+	++	++	+	+	++	--	1
Lokale Autoritäten	+	+	+	+	++		+	2
NGO Personal	++	+	+	++	+		-	3
Schulen	+	+	+	+	+	+	-	4
Lokale Promotoren	+	+	-	+	+		-	5
TV	-	+	-	-	+		++	6
Frauengruppe	-	-	-	-	-	+	+	7
Personal der nationalen Sodis-Organisation	+	+	-	+	-		-	8
Mütterzentren	-	-	+	-	+	+	-	9
Radio	--	--	--	--	--		+	10
Gemeindeversammlung	-	-	-	-	-	--	-	11

Beurteilung von Verbreitungsstrategien für Sodis in Bolivien durch die lokale Bevölkerung: ++ beste, + überdurchschnittliche, - unterdurchschnittliche, -- schlechteste Beurteilung in der Kategorie des jeweiligen Kriteriums; leere Felder bedeuten, dass das Kriterium für eine Strategie nicht angewendet werden kann.

Moser S., Heri S., Mosler H.J. (2005): Determinants of the diffusion of SODIS. A quantitative field study in Bolivia. Summary Report, Eawag, Dübendorf; [www.sodis.ch](http://www.sodis.ch) > papers

# Tödlicher Sonnenbrand für Bakterien

**Dass die solare Wasserdesinfektion Sodis krankheitserregende Keime erfolgreich ausser Gefecht setzt, hat die Eawag längst nachgewiesen. Doch erst jetzt konnte dank moderner mikrobiologischer Methoden aufgezeigt werden, was beispielsweise mit Durchfall verursachenden Bakterien passiert, wenn sie mit Sonnenlicht bestrahlt werden.** Michael Berney, Hans-Ulrich Weilenmann, Thomas Egli

Sodis bietet eine einfache Lösung zur Desinfektion von Trinkwasser. Die Methode ist vor allem in Entwicklungsländern eine Alternative zu teureren und energieintensiven Varianten wie dem Abkochen. Der Mechanismus der Inaktivierung und Abtötung von Keimen durch Sonnenlicht ist jedoch noch weitgehend unbekannt. Für ein vertieftes Prozessverständnis – und damit für eine noch höhere Glaubwürdigkeit von Sodis – haben wir den Absterbevorgang von bakteriellen Durchfallerregern unter Sonnenbestrahlung genauer unter die Lupe genommen.

## «Kein Wachstum» heisst nicht «tot»

Es ist äusserst schwierig, den Tod eines Bakteriums festzustellen. Mit der traditionellen Kultivierung von Bakterien auf Nährstoffplatten wird

die Wirksamkeit von Desinfektionsmethoden oft überschätzt, weil «kein Wachstum» nicht gleichbedeutend ist mit «tot». Wir wählten daher einen neuen Ansatz. Mit Methoden wie der Durchflusszytometrie konnten wir bei *Escherichia coli* verschiedene Zellfunktionen während der solaren Desinfektion verfolgen und ein detailliertes Bild über den Absterbeprozess gewinnen.

## Ab sechs Stunden keine Wiederbelebung mehr möglich

Eine zweistündige Bestrahlung mit Sonnenlicht schwächte die Bakterien so weit, dass sie nur noch eine stark reduzierte Membranpumpenaktivität und Energieproduktion (ATP-Synthese) zeigten. Zu diesem Zeitpunkt konnten sich die Zellen bei richtigem Nährstoffangebot aber wieder er-



Bestrahlungsanlage für kontrollierte Sodis-Versuche. Die Wasserproben befinden sich in Quarzglasröhrchen (max. 25 Röhrchen) und können temperiert werden. Die Anlage kann in alle Richtungen gedreht und gekippt werden, um dem Sonnenstand zu folgen.

verschiedene Arten zu «reaktivieren», scheiterten. Eine starke Schädigung der Zellmembran haben wir schliesslich nach insgesamt rund acht Stunden Bestrahlung beobachtet. Dies wird in Fachkreisen mit dem Tod gleichgesetzt.

Die Colibakterien dienten uns als Indikatoren. Ob andere Bakterien, beispielsweise Salmonellen, nach dem gleichen Muster absterben, muss noch gezeigt werden. Erste Versuche deuteten auf ein ähnliches Verhalten hin.

Unsere Versuche wurden in der Schweiz durchgeführt. In subtropischen und tropischen Zonen kann mit einer stärkeren Strahlungsintensität und längerer Sonnenscheindauer gerechnet werden. Deshalb gehen wir davon aus, dass unsere Resultate noch Sicherheitsreserven aufweisen. ○ ○ ○

## Unsere Arbeit attestiert Sodis eine tödliche Wirkung auf Colibakterien.

## Investitionen zahlen sich 50fach aus

Sodis wurde an der Eawag entwickelt und wird mittlerweile weltweit von rund 2 Millionen Menschen im Alltag eingesetzt. Die Forschung zu den mikrobiologischen Abläufen (diese Seite) sowie zur effizienten Verbreitung der Methode (Seite gegenüber) wurde 2005 mit einer Wirtschaftlichkeitsabschätzung ergänzt. Das wichtigste Resultat: Jeder in die solare Wasserdesinfektion und deren Verbreitung investierte Dollar bringt in Ländern wie Indien, Indonesien, Kenia oder Nicaragua Einsparungen von rund 50 Dollar im Gesundheitswesen und in der Volkswirtschaft. Sodis wurde an der Weltausstellung 2005 in Aichi mit dem Energy-Globe-Spezialpreis ausgezeichnet.

	Bestrahlungsdauer [h]					
	0	1,5	3	4,5	6	7,5
ATP-Synthese	●	●	●	●	●	●
Membranpumpen	●	●	●	●	●	●
Kultivierbarkeit	●	●	●	●	●	●
Membranpotenzial	●	●	●	●	●	●
Glukoseaufnahme	●	●	●	●	●	●
Membranintegrität	●	●	●	●	●	●

● aktiv ● inaktiv

Aktivität von lebenswichtigen Zellfunktionen in *E.-coli*-Bakterien während der Bestrahlung mit Sonnenlicht.

holen; eine Infektion über das Trinkwasser wäre also noch nicht ausgeschlossen. Nach sechsstündiger Bestrahlung verloren die Bakterien dann aber die Fähigkeit, ein Membranpotenzial aufrecht zu erhalten und waren unfähig, Nährstoffe wie beispielsweise Glukose aufzunehmen. Unsere Versuche, diese Bakterien auf

Berney M., Weilenmann H.-U., Egli T. (2006): Flow-cytometric study of vital cellular functions in *Escherichia coli* during solar disinfection (SODIS), Microbiology (SGM) (in press)

# Stoffe

## Chemikalien und Effekte

# Wwa

**Im Handlungsfeld Chemikalien und Effekte legt die Eawag einen Schwerpunkt auf die dynamische Umweltrisikobewertung im Bereich Wasser- und Gewässerqualität. Dazu wird die Forschung über die zeitlich und räumlich schwankenden Belastungen mit den Arbeiten über Wirkungen von Substanzen und Gemischen kombiniert. Einbezogen werden auch nicht chemische Stressfaktoren wie Temperaturanstieg oder erhöhte UV-Strahlung.**

Ein einzelner Schadstoff führt ab einer bestimmten Konzentration im Wasser zur Schädigung oder zum Tod eines Fisches. Das ist die klassische Betrachtung, wie Toxikologie lange betrieben wurde und wie sie vielen Regelwerken, zum Beispiel über Chemikaliengenehmigungen, zu Grunde liegt. Doch der tote Fisch, zumeist das Resultat von Versuchen, spiegelt die Realität nur zu einem kleinen Teil. Das Bild sagt nichts darüber aus, wie der Schadstoff vom Fisch aufgenommen wird und welche internen Konzentrationen welche Effekte im Organismus auslösen. Zudem wird außer Acht gelassen, dass in natürlichen Gewässern fast immer ein ganzer Cocktail von Stoffen seine Wirkung entfaltet oder dass niedrige Konzentrationen langfristig ebenso entscheidend sein können wie eine einzige kurzzeitige Spitze.

### **Dynamische Risikobewertung als Ziel**

Im Handlungsfeld Chemikalien und Effekte setzt die Eawag auf eine dynamische Risikobewertung und prägt damit eine moderne Ökotoxikologie. Dynamisch in Raum

und Zeit bedeutet beispielsweise, dass stoffliche Belastungen aus dem Siedlungsgebiet gemeinsam mit den Einträgen aus der Landwirtschaft betrachtet werden und der jahreszeitlich oder von einzelnen Regenereignissen geprägte Eintrag der Stoffe in die Gewässer verfolgt wird. Aus solchen Erhebungen können Expositionsszenarien abgeleitet und Modelle erstellt werden, die eine realistische Beurteilung der effektiven Belastung für die Organismen und das Ökosystem erlauben. Mit der Zusammenlegung der beiden Abteilungen Wasser + Landwirtschaft und Chemische Problemstoffe zur neuen Abteilung Umweltchemie und mit der konsequenteren Ausrichtung auf die Effekte der Schadstoffe in der Abteilung Umwelttoxikologie hat die Eawag die Kräfte in diesem Bereich gebündelt und arbeitet auch an mehreren Projekten des Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) mit, vor allem in den Lehr- und Forschungsfeldern «Nachhaltige Landnutzung» sowie «Nahrung, Umwelt und Gesundheit».

# im Wasser

## **Zusätzliche Stressfaktoren einbeziehen**

Die realistische Expositionsbeurteilung allein erlaubt jedoch noch keine wirkliche Risikoabschätzung. Dazu muss die Expositions- mit der Effektforschung zusammengeführt werden. Im Zentrum stehen hier die Arbeiten über die interne Exposition, und zwar sowohl experimentell als auch mit Hilfe von Modellen. Wenn bekannt ist, wie sich Schadstoffe oder Schadstoffgemische im Organismus verteilen und wie sie sich am Zielort verhalten, lassen sich Effekte besser erklären und vorhersagen. Auch erleichtert ein solcher Ansatz eine Übertragung von Resultaten von einer auf andere Spezies, also z. B. vom Fisch auf einen Wasserfloh. Ein Fernziel wäre es, Expositions- und Effektm Modelle miteinander zu verknüpfen. So liessen sich Risiken schliesslich auch dann bewerten, wenn die Belastungen stark schwanken oder wenn zusätzliche Stressfaktoren – zum Beispiel ein Temperaturanstieg oder erhöhte UV-Strahlung – mitberücksichtigt werden.

## **Praxisrelevante Forschung**

Die Eawag liefert mit dem Handlungsfeld Chemikalien und Effekte Grundlagen, welche helfen, die rechtlichen Regelungen in Umwelttoxikologie und Umweltchemie zu modernisieren und beispielsweise die Diskussion um Grenzwerte zu differenzieren. Die für diese Forschung benötigte spezifische Analytik in den Bereichen Chemie und Biologie wird wie die entsprechende Methodik laufend angepasst. Zudem erarbeitet die Eawag auch hand-

lungsorientierte Konzepte, wie Stoffeinträge in Gewässer reduziert werden können oder wie mit bereits bestehenden Belastungen umgegangen werden soll. Die Artikel zu einer angepassten Feldbewirtschaftung, zu Schadstoffen in Strassenbanketten oder über die Munitionsablagerungen im Zürichsee sind Beispiele dazu.

## **Problemstoffe aus der Natur**

Nicht immer ist der Mensch Verursacher von problematischen oder gar gefährlichen Belastungen im Wasser. Hohe Salzgehalte und Stoffe wie Fluor, Arsen oder Selen aus natürlichen Quellen kontaminieren weltweit das Trinkwasser von hunderten Millionen Menschen. Mit dem Querprojekt «Water Resource Quality» (WRQ) legt die Eawag deshalb einen speziellen Schwerpunkt auf die Belastung des Grundwassers mit geogenen Schadstoffen. WRQ will besonders gefährdete Gebiete frühzeitig erkennen und die Folgen geochemischer Prozesse auf die Trinkwasserqualität abschätzen können. Im Projekt werden auch Strategien entwickelt, wie belastetes Wasser behandelt werden kann – insbesondere in strukturschwachen Ländern der ariden Zonen, wo der Druck auf die Wasserressourcen besonders hoch ist. Schliesslich geht es auch darum, Management-Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, wie diese Ressourcen im Spannungsfeld zwischen Wasserversorgung, Nachfrage und Grundwasserqualität nachhaltig bewirtschaftet werden können.



# Die interne Dosis

# bestimmt die

# Wirkung

**Wie giftig ein Schadstoff wirkt, liegt nicht nur an seiner Konzentration in der Umwelt, sondern entscheidend auch an seinem Verhalten in betroffenen Organismen. Daher erlaubt eine Erhebung der internen Konzentration eine bessere Bewertung von ökotoxikologischen Effekten. Solche Konzentrationen zu messen ist nicht einfach. Daher werden Sensoren entwickelt, die den Stoff ähnlich aufnehmen wie zum Beispiel ein Fisch im Wasser. Forschende aus den Bereichen Umweltchemie und Ökotoxikologie arbeiten dabei eng zusammen.**

Beate Escher, Rik Eggen, Marion Junghans, Anja Liedtke, Marc Suter, Christiane Vögeli, Etiënne Vermeirssen

Traditionell werden Effekte in der Ökotoxikologie in Bezug zur Konzentration im umgebenden Medium bewertet. So können Kennwerte – z. B. LC50 als Konzentration, die für 50% der Testspezies tödlich ist – abgeleitet oder Verhaltensänderungen der Spezies bewertet werden. Wenn die Konzentration nur aus zugegebener Stoffmenge und Volumen des Wasserkörpers berechnet wird, spricht man von Nominalkonzentration. Wie Abb. 1 zeigt, kann es zu deutlichen Unterschieden zwischen der Nominalkonzentration und derjenigen Konzentration kommen, welcher z. B. ein Fisch tatsächlich ausgesetzt ist. Mögliche Gründe dafür sind ein Stoffabbau sowie die Bindung der Substanz an Teile der Versuchsanordnung, Futter, Ausscheidungsprodukte oder an den Fisch selbst. Der Realität näher kommt die Konzentration der vollständig gelösten Stoffmenge, denn nur diese ist bioverfügbar.

## Was sich im Fisch anreichert

Noch besser ist es jedoch, nicht die Konzentration im Umgebungswasser als Indikator zu benutzen, sondern zu untersuchen, was der Fisch tatsächlich aufgenommen hat. Denn diese internen Konzentrationen sind nicht nur von Fischart zu Fischart, sondern auch zwischen verschiedenen aquatischen Organismen konstant, sofern der gleiche Wirkmechanismus untersucht wird und die internen Konzentrationen ins Verhältnis zum Lipidgehalt der Organismen gesetzt werden [1].

Für den Wirkmechanismus «Basistoxizität» konnten wir zeigen, dass selbst für verschiedene Stoffe die internen Effektkonzentrationen konstant sind, wenn diese auf den Lipidgehalt normiert werden. Das illustriert ein Testsystem aus isolierten Membranen des Bakteriums *Rhodobacter sphaeroides* (Abb. 2). Basistoxizität beschreibt die nichtspezifische Anreicherung in biologischen Membranen und damit die Störung von Membranintegrität und -funktion.

Oben: Mit den Eiern dieser Zebrafische ist eine effiziente Effektforschung möglich (Bild: Andri Bryner). Unten: Pestizide aus der Landwirtschaft können zu Gewässerbelastungen führen, wenn sie zur falschen Zeit oder auf ungeeigneten Flächen ausgebracht werden (Bild: Eawag).

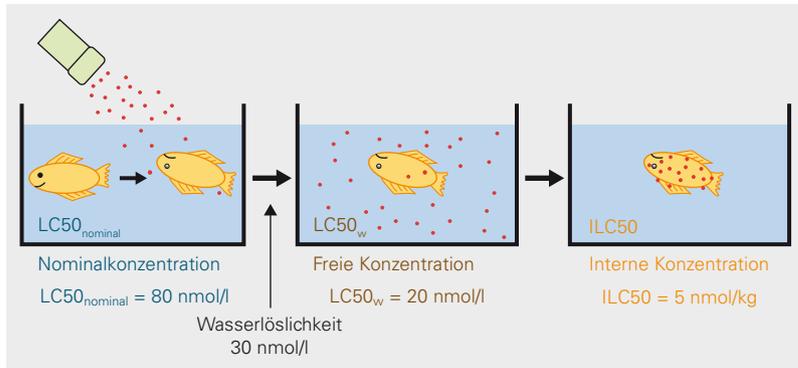


Abb. 1: Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen am Beispiel von Hexachlorbenzen, einer Chemikalie, die auf Fische akut toxisch wirkt.

### Eigene Bedingungen im Innern der Alge

Doch auch dann, wenn es um spezifisch wirkende Substanzen geht, können Effekte besser analysiert und verstanden werden, wenn ihre Konzentrationen am Wirkort im Tier oder in der Pflanze erhoben oder modelliert werden. Die totale interne Konzentration ist dann allerdings oft nicht differenziert genug. Vielmehr müssen die toxikokinetischen Prozesse wie Aufnahme, Metabolisierung oder Verteilung des Stoffs innerhalb des Organismus und seiner Zellen sowie Ausscheidung berücksichtigt werden. Ein Beispiel dafür, wie wichtig es ist, den Wirkort und den Wirkmechanismus zu kennen, ist der Effekt von Triclosan auf Algen. Dieses Biozid greift stark pH-abhängig die Foto-

synthese an [2], da der Wirkmechanismus auf einem Transport von Protonen über die Membran basiert. In photosynthetisch aktiven Membranen, die aus Purpurbakterien isoliert wurden, ist der Effekt am stärksten bei pH 8. Bei pH 7 ist er etwa fünfmal geringer. Dennoch wurde auch bei pH 7 eine hohe Algentoxizität von Triclosan beobachtet. Der überraschende Befund wird plausibel, wenn man den Algen-internen pH von rund 7,7 berücksichtigt. Zurzeit sind wir dabei, diese Hypothese nicht nur durch Modellierungen, sondern auch durch Experimente zu bestätigen.

### Gift sammeln fast wie ein Fisch

Auch wenn diese Beispiele überzeugend sind, so hat sich das Konzept noch nicht durchgesetzt, denn es ist schwierig, die internen Konzentrationen experimentell zu messen. Es werden daher vermehrt Methoden entwickelt, die interne Konzentrationen simulieren können. Eine davon sind so genannte biomimetische Passivsammler. Sie erfassen nicht nur die über die Zeit aufsummierten Konzentrationen im Wasser, sondern indirekt auch die Bioakkumulation in aquatischen Organismen, weil sie Wirkstoffe gleich oder in einer bekannten Proportion aufnehmen wie beispielsweise ein Fisch.



Einer toten Bachforelle wird Gallensaft entnommen. Statt aufgenommene Problemstoffe direkt in Fischen oder anderen Organismen zu messen, entwickelt die Eawag auch Verfahren, welche die Bioakkumulation simulieren.

Fotos: Eawag/Empa

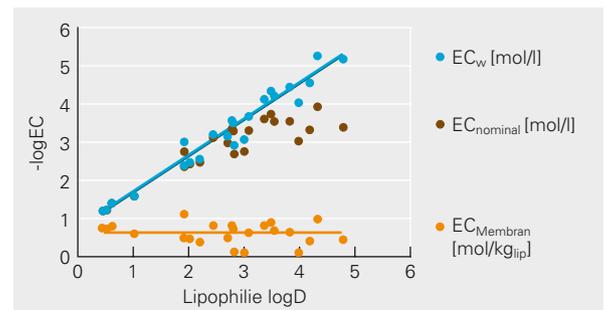
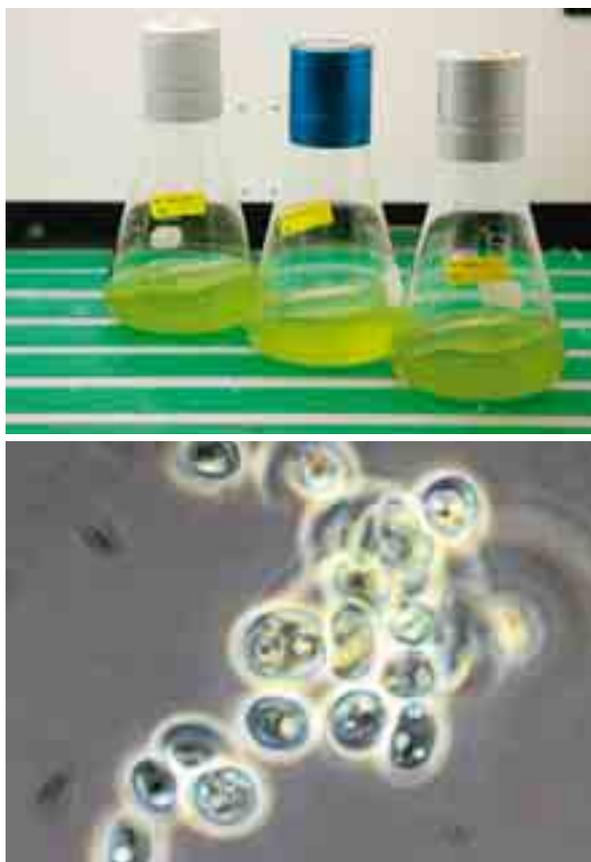


Abb. 2: Effektkonzentrationen verschiedener Stoffe in Membranen des Bakteriums *Rhodobacter sphaeroides*. Mit zunehmender Lipophilie werden die Stoffe toxischer; die auf das Umgebungswasser bezogenen Effektkonzentrationen ( $EC_{nominal}$  und  $EC_w$ ) fallen. Die internen Effektkonzentrationen, normiert auf den Lipidgehalt, bleiben hingegen konstant.



Grünalgen (Mikroskopbild unten) lassen sich einfach kultivieren (oben) und für die Effektforschung einsetzen.

In einer Feldstudie [3] haben wir verfolgt, wie sich unterhalb von Kläranlagen östrogene Verbindungen in der Galle von Fischen anreichern. Gleichzeitig wurden auch das Flusswasser beprobt und ein Passivsammler ausgebracht. Dieser sollte die Aufnahme in die Fische simulieren. Wie Abb. 3 zeigt, ergab sich eine signifikante Korrelation der Östrogenität zwischen Wasser und Passivsammlern sowie zwischen Passivsammlern und Fischgalle. Je höher die Konzentration an östrogenen Verbindungen in den Gewässern ist, desto stärker reichern sich diese Verbindungen also auch im Passivsammler bzw. im Fisch an.

### Den Effekten auf der Spur

Im nächsten Schritt untersuchten wir, welche Effekte mit den registrierten Konzentrationen verknüpft werden müssten. Ein messbarer östrogener Effekt wäre z. B. die Vitellogenin-Induktion bei männlichen Tieren (Vitellogenine sind Vorläufer von Dotterproteinen und werden normalerweise nur in weiblichen Fischen produziert). Einen eindeutigen Zusammenhang zwischen interner Konzentration von Östrogenen in der Galle und Vitellogenin-Induktion konnten wir aber nur für einzelne Fische nachweisen.

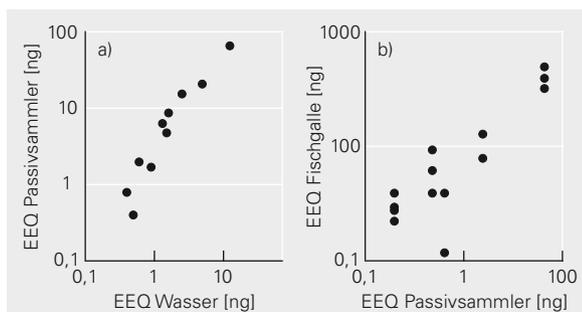


Abb. 3: Korrelation zwischen den Östradioläquivalenten im Wasser und im Passivsammler (A) sowie zwischen Passivsammler und Fischgalle (B).

Daher haben wir auch den umgekehrten Weg beschritten und Fische, welche aus einem stark belasteten Gewässer stammten und sich durch einen hohen Vitellogenin-Gehalt im Blut auszeichneten, mit solchen aus sauberer Umgebung und tiefen Vitellogenin-Konzentrationen verglichen: In der Gruppe mit hohen Vitellogenin-Werten fanden wir um ein Vielfaches höhere Steroidkonzentrationen in den Gallen. Steroide sind diejenigen Umwelthormone mit der stärksten Östrogenität. Weitere Arbeiten sind im Gange, da ein Teil der gemessenen Steroide von den Fischen selbst stammt und die Konzentration von Tier zu Tier stark variieren kann.

Das Konzept der internen Exposition hat nicht nur das Potenzial, viele Forschungsfragen zu lösen. Es ist unserer Ansicht nach auch für die Praxis relevant: Es hilft, die effektverursachenden Stoffe zu identifizieren, dient zur Risikobewertung von Stoffen und Gemischen und trägt zur Definition von Qualitätskriterien für Wasser oder Boden bei. Zudem schlägt das Konzept eine Brücke zwischen der Bewertung von Umweltrisiken und von Gesundheitsrisiken für den Menschen [4].

○ ○ ○

- [1] Escher B., Schwarzenbach R.P. (2002): Mechanistic studies on baseline toxicity and uncoupling as a basis for modeling internal lethal concentrations in aquatic organisms. *Aquat. Sci.* 64, 20–35.
- [2] Escher B.I., Hunziker R., Westall J.C., Schwarzenbach R.P. (1999): Kinetic model to describe the intrinsic uncoupling activity of substituted phenols in energy transducing membranes. *Environmental Science and Technology* 33, 560–570.
- [3] Vermeirssen E., Körner O., Schönenberger R., Suter M. J.-F., Burckhardt-Holm P. (2005): Characterisation of environmental estrogens in river water using a three pronged approach: active and passive water sampling and the analysis of accumulated estrogens in the bile of caged fish. *Environ. Sci. Technol.* 39, 8191–8198.
- [4] Escher B.I., Hermens J.L.M. (2004): Internal exposure – linking bioavailability to effects. *Environ. Sci. Technol.* 38, 455A–462A.

# Herbizide in den Bächen: Kleine Flächen – grosse Wirkung

**Trotz strenger Auflagen gelangen immer noch zu viele Pestizide in die Gewässer. Die Belastung durch Herbizide aus der Landwirtschaft kann dabei entscheidend von wenigen Teilflächen einzelner Felder abhängen. Sind die «Hotspots» bekannt, kann eine standortgerechte Landwirtschaft den Einsatz von Agrochemikalien auf diesen Flächen vermeiden.** Luciana Gomides Freitas, Heinz Singer, Stephan Müller, René Schwarzenbach, Christian Stamm

In der Schweizer Landwirtschaft werden jährlich rund 1500 Tonnen Pestizide eingesetzt, zumeist Herbizide. Ein Teil dieser Substanzen verbleibt nicht auf den Feldern, sondern wird in Gewässer eingetragen. Das kann das aquatische Leben beeinträchtigen oder schädigen. Trotz Einführung der neuen Agrarumweltpolitik Mitte der 90er Jahre konnten die Herbizidverluste in die Gewässer nicht substantiell verringert werden [1]. Das wirft die Frage auf, mit welchen Massnahmen denn eine Verbesserung der Gewässerqualität zu erzielen wäre. Eine mögliche Antwort können genauere Kenntnisse über die Herkunft der Stoffe liefern.

## Wissen, woher die Herbizide stammen

Im Rahmen einer Dissertation [2] wurden verschiedene Herbizide unter praxisüblichen Bedingungen, aber kontrolliert auf vier Maisfeldern in der Region Greifensee ausgebracht. Messungen an verschiedenen Stel-



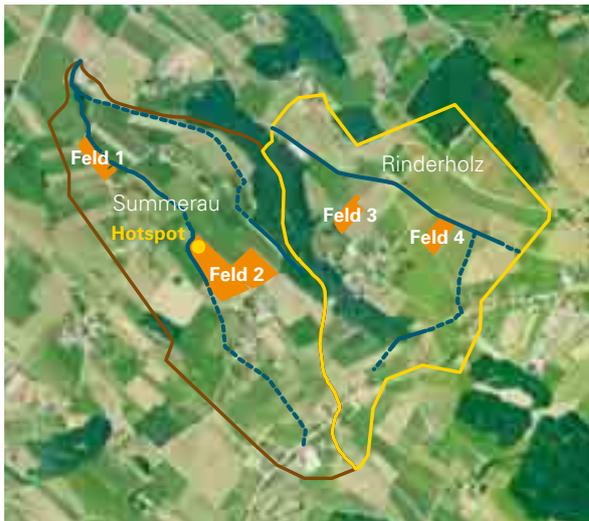
Provisorische Messstation der Eawag an einem Bach mit einem vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet.

len im Gewässer und eine «Markierung» der Felder mit spezifischen Herbiziden erlaubten es, die Herbizidverluste räumlich und mengenmässig detailliert zu erfassen. Die Ergebnisse zeigen enorme Unterschiede zwischen den Feldern und sogar Teilen davon. Während des Hauptregeneignisses verloren die Felder 1 und 2 knapp 1% der ausgebrachten Atrazinmenge ins Gewässer. Unter den identischen Witterungsbedingungen waren die Verluste von den Feldern 3 und 4 rund 15-mal kleiner. Noch grössere räumliche Unterschiede liessen sich auf Feld 2 beobachten. Indem wir auf der nassesten Teilfläche – rund 300 m<sup>2</sup> – des gut 3 ha grossen Feldes ein zusätzliches Herbizid (Simazin) ausbrachten, konnten wir die Verluste auf dem vermuteten «Hotspot» ermitteln. Tatsächlich war der Verlust an Simazin pro Flächeneinheit rund 35-mal höher als der durchschnittliche Atrazin-Verlust der beiden Felder 1 und 2 mit total 3,85 ha Fläche. Da die beiden Herbizide sehr ähnlich sind, können die Werte direkt verglichen werden: Der Verzicht auf nur 1% der Fläche des einen Feldes würde also in diesem

Fall die Herbizidverluste von beiden Feldern um 27% reduzieren.

## Hotspots vorhersagen

Unsere Ergebnisse zeigen, dass diffuse Verluste von Herbiziden und von andern Agrochemikalien massgeblich vermindert werden können, wenn der Einsatz dieser Substanzen auf kritischen, im Verhältnis zur Gesamtfläche kleinen Flächen vermieden wird. Ein neu angelaufenes Projekt widmet sich daher der Frage, wie diese «Hotspots» mit Modellen vorhergesagt werden können und wie sie im Raum verteilt sind. Ziel ist es, eine standortgerechtere landwirtschaftliche Produktion zu ermöglichen und damit die Gewässerbelastung zu senken. ○ ○ ○



Die Lage der vier Felder im Einzugsgebiet «Rohr» und der «Hotspot» (gelb) in Feld 2.

[1] Singer H., Anfang H.-G., Lück A., Peter A., Müller S. (2005): Pestizidbelastung von Oberflächengewässern. Auswirkungen der ökologischen Massnahmen in der Landwirtschaft. gwa 2005, 879–886.

[2] Gomides Freitas L. (2005): Herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. Diss ETH 16 076, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.

# Arsen und die Bewässerung der Reisfelder

**Verursacht versickerndes Bewässerungswasser von Reisfeldern Bangladeschs hohe Arsenwerte in 30 Metern Tiefe? Eher nein, sagen die Resultate einer neuen Untersuchung. Die Arsenkonzentration könnte jedoch durch die Förderung grosser Wassermengen beeinflusst werden, besonders im oberflächennahen Bereich und dort, wo sich Grundwasserkörper mischen.**

Stephan Klump, Olaf A. Cirpka, Stephan J. Hug, Rolf Kipfer

In vielen Ländern Süd- und Südostasiens ist die Bevölkerung durch eine natürliche Belastung des Grundwassers mit Arsen bedroht. Eines der am stärksten betroffenen Länder ist Bangladesch, wo etwa ein Drittel der 6 bis 10 Mio. Trinkwasserbrunnen den nationalen Grenzwert für Arsen von 50 µg/l überschreiten.

## Naheliegende Hypothese

Um die Mobilisierung von Arsen zu erklären, wurden schon mehrere Hypothesen formuliert. Weitgehende Einigkeit besteht darin, dass Arsen unter stark reduzierenden Bedingungen freigesetzt wird. Die genauen Prozesse, die zu der beobachteten unregelmässigen Verteilung des Arsens im Grundwasser führen, sind jedoch unbekannt. Mögliche Zusammenhänge zwischen Grundwasserhydrologie und Arsenkontamination wurden kaum untersucht. Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass grosse Wasservolumen zur Bewässerung der Reisfelder aus denselben Grundwasserleitern gefördert wer-

den, die auch zur Trinkwasserversorgung genutzt werden. Die Vermutung liegt daher nahe, dass auf den Reisfeldern versickerndes Bewässerungswasser, das reich an organischem Kohlenstoff ist und entsprechend reduzierend wirkt, zur Arsenmobilisierung beiträgt.

## Umwelttracer zur Datierung

Um den Einfluss der Bewässerung auf den lokalen Grundwasserhaushalt und damit auf die Arsenmobilisierung eingehender zu untersuchen, haben wir in Grundwasserproben von einem Ort mit bekannter Arsenkontamination die konservativen Spurenstoffe Tritium und Helium gemessen. Zur Datierung konnten das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium ( $^3\text{H}$ ), das überwiegend aus den atmosphärischen Nuklearwaffentests (bis zu deren Verbot 1963) stammt, und dessen Zerfallsprodukt, das Heliumisotop  $^3\text{He}$ , genutzt werden.

Reisfelder in Bangladesch werden erst seit den 1970er Jahren mit Grundwasser bewässert. Deshalb

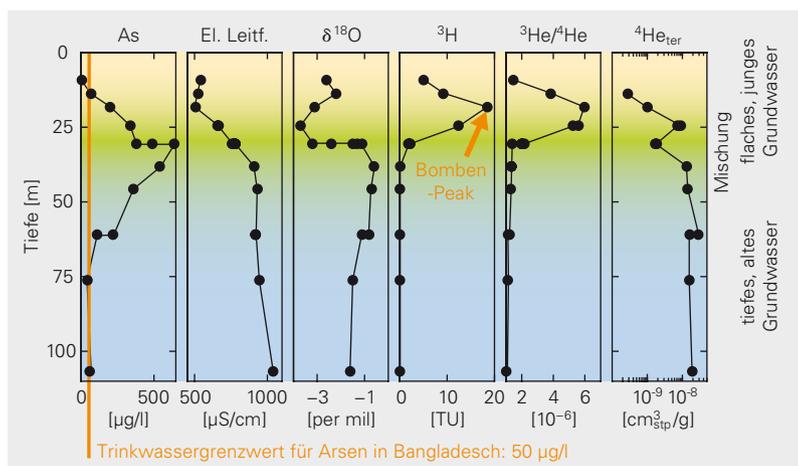


Grundwasser-Probenahme in Bangladesch.

weist das älteste infiltrierte Bewässerungswasser ein «Alter» von etwa 30 Jahren auf. Wenn infiltrierte Bewässerungswasser direkt zur Arsenfreisetzung beitrüge, wäre das kontaminierte Grundwasser jünger als 30 Jahre. Die Ergebnisse der Traceranalysen zeigen jedoch, dass das Grundwasser mit den höchsten Arsenkonzentrationen deutlich älter ist als 30 Jahre und deswegen kein Bewässerungswasser sein kann.

## Grundwasserkörper gemischt

Zusätzlich zu den Hinweisen über versickerndes Bewässerungswasser zeigen unsere Tracerdaten, dass in derselben Tiefe, in der die Arsenkonzentrationen am höchsten sind, zwei unterschiedliche Grundwasserkörper in Kontakt stehen. Möglicherweise ist die Mischung dieser beiden Grundwasserkörper – ausgelöst durch die Förderung grosser Wasservolumen zur Bewässerung – verantwortlich für die Arsenmobilisierung. Diese neue Hypothese muss nun durch weitere geochemische Untersuchungen überprüft werden. ○ ○ ○



Grundwasserproben aus Bangladesch: Gut zu erkennen sind zwei Grundwasserkörper, die in rund 30 m Tiefe aufeinander stossen und sich mischen. Aus derselben Tiefe wird das Wasser für die Bewässerung der Reisfelder gefördert. Der  $^3\text{H}$ -Bombenpeak aus den 1960er Jahren zeigt, dass das Wasser in 30 m Tiefe, dort wo die Arsenkonzentration am höchsten ist, vor 1960 infiltriert sein muss – also noch bevor Grundwasser zur Bewässerung der Reisfelder genutzt wurde.

Klump S. et al. (2006): Groundwater dynamics and arsenic mobilization in Bangladesh assessed using noble gases and tritium. *Environmental Science and Technology* 40 (1), 243–250.

# Pestizidrückstände mit Hilfe von Bakterien abbauen

**Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit dem Pestizid Hexachlorocyclohexan (HCH) sind in Indien ein grosses Problem. Wir haben ein Sanierungsverfahren entwickelt, das auf HCH abbauenden Bakterien beruht. Da einzelne HCH-Isomere mit Hilfe der Bakterien aber zu Metaboliten umgebaut werden, wird in einer zweiten Projektphase geklärt, wie sich diese in der Umwelt verhalten.** Vishakha Raina, Christoph Werlen, Hans-Peter E. Kohler

In der EU verboten oder im Gebrauch stark eingeschränkt, werden Pestizide wie Parathion, Methylparathion und Hexachlorocyclohexan (HCH) in Indien auch heute noch verwendet. Der ausgiebige Gebrauch von Pestiziden führt in vielen Entwicklungsländern zu grossen Problemen. Pestizidrückstände in Böden und Grundwässern sind nicht nur eine Belastung für die Umwelt, sondern können auch Produktion und Verwertung von landwirtschaftlichen Gütern beeinträchtigen. So gab es in den letzten Jahren in Indien mehrmals Beanstandungen von Reis. Die HCH-Rückstände in der Ernte lagen über den erlaubten Grenzwerten; eine Gewinn bringende Verwertung war unmöglich.

## Verunreinigt mit Hexachlorocyclohexan

HCH gelangt vor allem auf zwei Wegen in die Umwelt. Einerseits wurde es über einen längeren Zeitraum als technisches Produkt, d. h. als Isomerengemisch, verwendet. Der Anteil an  $\gamma$ -HCH, welches als Insektizid wirkt, betrug darin nur

wenige Prozent. So wurden die behandelten Böden mit den nicht wirksamen Bestandteilen stark belastet. Andererseits gibt es an Standorten, an denen reines  $\gamma$ -HCH produziert wurde, hohe HCH-Belastungen, weil die nicht verwertbaren Abfallisomere unsachgemäss entsorgt wurden.

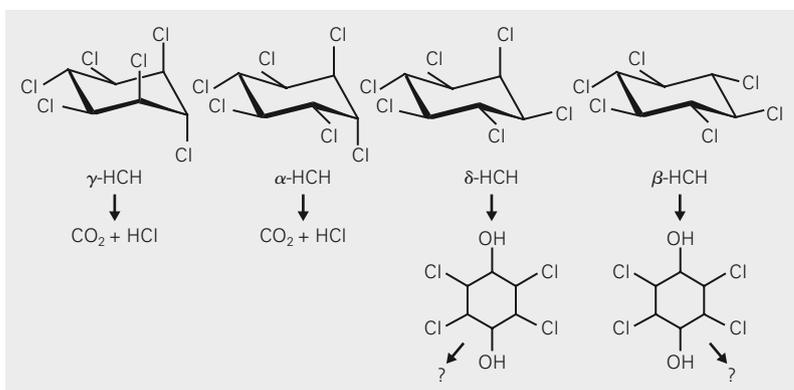
## Sanierung mit Bakterien

Wir untersuchten, ob HCH-verunreinigte Böden durch Zugabe von HCH abbauenden Bakterien biologisch saniert werden können. Gezüchtete, zum HCH-Abbau befähigte *Sphingobium indicum*-Bakterien, die zusammen mit pulverisierten Störzen von Maiskolben als Trägermaterial im Labor- und Pilotmassstab auf HCH-verunreinigten Böden ausgebracht wurden, bewirkten einen beschleunigten Abbau des Pestizids. Die erste Phase des Projekts hat damit die prinzipielle Machbarkeit einer solchen Sanierung gezeigt.

## Isomerenproblematik

Die kürzlich bewilligte zweite Phase des partnerschaftlichen Forschungs-

projekts hat zwei Ziele. Einerseits soll die entwickelte Technologie in einem grösseren Feldversuch in Indien getestet werden, und andererseits soll Klarheit gewonnen werden über die so genannte «Isomerenproblematik». Es hat sich nämlich gezeigt, dass die verschiedenen HCH-Isomere, die sich nur hinsichtlich der axialen und equatorialen Stellung der Chloratome unterscheiden, in Bezug auf ihre Abbaubarkeit grosse Unterschiede aufweisen.  $\beta$ - und  $\delta$ -HCH sind am problematischsten; sie werden in der Umwelt viel schlechter abgebaut als  $\alpha$ - und  $\gamma$ -HCH. Wir konnten zum ersten Mal nachweisen, dass *Sphingobium indicum* auch  $\beta$ - und  $\delta$ -HCH umsetzen kann. Im Gegensatz zu  $\alpha$ - und  $\gamma$ -HCH, die vollständig zu Kohlendioxid und Salzsäure mineralisiert werden, bilden sich dabei aber hydroxylierte Metaboliten. Um das neu entwickelte biologische Sanierungsverfahren abschliessend beurteilen zu können, müssen jetzt das weitere Schicksal und die toxikologische Relevanz dieser Metaboliten abgeklärt werden. ○ ○ ○



Die HCH-Isomere (in technischem HCH im Schnitt wie folgt vertreten: 68%  $\alpha$ , 9%  $\beta$ , 15%  $\gamma$ , 8%  $\delta$ ) unterschieden sich auf Grund der Stellung ihrer Chloratome. Die äusserst umweltproblematischen Isomere,  $\beta$ - und  $\delta$ -HCH, bei denen die Chloratome vorwiegend in equatorialer Stellung liegen, werden vom Bakterium *Sphingobium indicum* zu hydroxylierten Metaboliten umgesetzt.

Dieses Projekt wird im Rahmen der «Indo-Swiss Collaboration in Biotechnology» (ISCB) von der schweizerischen und der indischen Regierung unterstützt. Projektpartner sind neben der Eawag die Universität in Delhi, die EPFL (Lausanne) und die FAW (Wädenswil).

<http://iscb.epfl.ch> > scientific program > second phase

Suar M., Hauser A., Poiger T., Buser HR., Müller MD., Dogra C., Raina V., Holiger C., van der Meer JR., Lal R., Kohler HPE. (2005): Enantioselective transformation of  $\alpha$ -hexachlorocyclohexane by the dehydrochlorinases LinA1 and LinA2 from the soil bacterium *Sphingomonas paucimobilis* B90A. Appl Environ Microbiol 71, 8514–8518.

# Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattales

**Es gibt Verunreinigungen in Zürichs Abwasser, zum Beispiel Antibiotika, die trotz Kläranlagen in die Limmat gelangen und von dort auch bis zu Grundwasserpumpwerken. Die Konzentrationen sind zwar sehr gering, doch die Messresultate legen nahe, flussnahe Fassungen regelmässig auf organische Spurenstoffe zu kontrollieren.** Christa S. McArdell, Eva Molnar, Christian Schaffner, Walter Giger, Eduard Hoehn

Organische Schadstoffe im kommunalen Abwasser werden in der Kläranlage durch biologischen Abbau oder Sorption nur teilweise eliminiert. Ein Teil gelangt mit dem geklärten Abwasser in die Gewässer. Durch Infiltration aus belasteten Oberflächengewässern oder aus Lecks in der Kanalisation können sie ins Grundwasser gelangen. In Zusammenarbeit mit dem Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft und dem kantonalen Labor Zürich haben wir den Ablauf der Kläranlage Werdhölzli (ARA), die Limmat ober- und unterhalb der ARA sowie zwei Grundwasserpumpwerke während mehrerer Wochen untersucht [1]. Gemessen wurden Makrolid- und Sulfonamid-Antibiotika, Röntgenkontrastmittel sowie Benzotriazole, die als Korrosionsschutzmittel verbreitet sind.

## Kläranlage klärt nicht alles

Alle elf untersuchten Antibiotika fanden sich im Ablauf der ARA. Diese Substanzen werden in der Kläranlage nur teilweise eliminiert [2]. Die höchsten Konzentrationen wurden mit bis zu 1,1 µg/l für Azithromycin gefunden. Die Werte sind höher als bei anderen bisher untersuchten Klär-

anlagen – möglicherweise weil besonders viel Spitalabwasser ins Werdhölzli gelangt. Von den zehn untersuchten Röntgenkontrastmitteln konnten sechs gefunden werden – am häufigsten Iopromid, Iohexol und Ioxitalaminsäure (zwischen 1,5 und 7 µg/l). Für die Korrosionsmittel Benzotriazol und Tolytriazol haben wir im ARA-Ablauf durchschnittlich Konzentrationen von 7 bzw. 1,4 µg/l gemessen.

## Kaum Elimination in der Limmat

In der Limmat, 7 km unterhalb der ARA, waren die Konzentrationen der gesuchten organischen Spurenstoffe rund 20-mal kleiner als im ARA-Ablauf. Wir fanden aber fast die gesamten Frachten wieder, die aus dem Kläranlagenablauf und aus der Limmat vor der Kläranlage stammen. In der Limmat scheint also auf dieser Strecke keine Elimination stattzufinden.

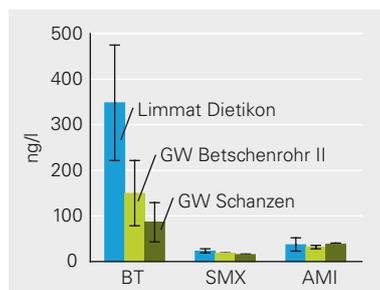
Im Grundwasser der Pumpwerke Schanzen und Betschenrohr II wurden das Antibiotika Sulfamethoxazol, das Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure sowie das Korrosionsschutzmittel Benzotriazol gefunden (Abbildung). Ähnliche oder leicht höhere Konzentrationen lagen im Limmatwasser vor. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass diese Substanzen über das Limmatinfiltrat in die Grundwasserfassungen gelangten, ohne dass im grundwasserdurchströmten Sediment eine signifikante Elimination stattgefunden hat. Andere Röntgenkontrastmittel, die in der Limmat in weit höheren Konzentrationen vorkommen als die Amidotrizoesäure, liessen sich in den Fassungen nicht mehr nachweisen. Sie werden offensichtlich im grund-

wasserdurchströmten Sediment zurückgehalten.

## Spurenstoffe auch anderswo

Messungen von ausgewählten Grundwasserproben des NAQUA-Netzes in der ganzen Schweiz ergaben ebenfalls einzelne positive Befunde an Sulfamethoxazol bis 15 ng/l [3]. Die im Grundwasser gemessenen Konzentrationen sind so gering, dass negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit nach heutigem Kenntnisstand ausgeschlossen werden können. Das Auftreten von Arzneimitteln, insbesondere von Antibiotika, in Trinkwasser sollte jedoch grundsätzlich vermieden werden. Im Sinne der Vorsorge empfehlen wir daher, flussnahe Grundwasserpumpwerke mit Infiltratanteil regelmässig auf ihren Gehalt an organischen Spurenstoffen zu untersuchen. ○ ○ ○

**Einzelne Spurenstoffe werden offensichtlich weder im Fluss noch im Untergrund eliminiert.**



Konzentrationen von Sulfamethoxazol (SMX), Amidotrizoesäure (AMI) und Benzotriazol (BT) in der Limmat bei Dietikon sowie in zwei Grundwasserpumpwerken (GW).

- [1] Blüm W., McArdell C.S., Hoehn E., Schaubhut R., Labhart W., Bertschi S. (2005): Organische Spurenstoffe im Grundwasser des Limmattales – Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2004. AWEL Bericht. (<http://www.bd.zh.ch> > Medienforum, Dossier «Mikroverunreinigungen»)
- [2] Göbel A., Thomsen A., McArdell C.S., Joss A., Giger W. (2005): Occurrence and sorption behavior of sulfonamides, macrolides, and trimethoprim in activated sludge treatment. Environ. Sci Technol. 39, 3981–3989.
- [3] Brennwald M.S., Singer H., Kipfer R. (2006): Belastungsanalyse für ausgewählte Grundwasser-Beobachtungsstellen des NAQUA-Programmes hinsichtlich Pestizide und Sulfonamid-Antibiotika. Schlussbericht, Eawag/Bafu.

# Wie weit kommen die Schadstoffe?

**Der Abbau von Schadstoffen in Altlasten ist limitiert, wenn der Sauerstoff fehlt. In der Folge werden Stoffe ins Grundwasser eingetragen, die an sich abbaubar wären. Sie bilden eine Schadstofffahne, deren Länge von den Transportprozessen und der seitlichen Durchmischung abhängt. Wir haben ein Modell entwickelt, das eine Vorhersage der Länge solcher Schadstofffahnen im Grundwasser ermöglicht.** Olaf A. Cirpka

In vielen Altlasten werden Schadstoffe kontinuierlich aus einem Schadensherd ins Grundwasser eingetragen. Bestimmte Schadstoffe werden lediglich unter aeroben Bedingungen abgebaut. Der gelöste Sauerstoff gelangt mit der natürlichen Grundwasserströmung in die Altlast und reagiert dort schnell mit dem Schadstoff. Übersteigt die Quellstärke des Schadensherds das Oxidationsvermögen des zugeführten Sauerstoffs, bildet sich eine Schadstofffahne aus. Der weitere natürliche Abbau erfordert die Einmischung des Sauerstoffs von der Seite in die Fahne.

## Das Programm ermöglicht es, Fahnenlängen rasch vorherzusagen.

Da die Quervermischung gelöster Stoffe im Grundwasser – durch hydrodynamische Dispersion – in den meisten Fällen sehr viel langsamer ist als der mikrobielle Abbau, wird dieser durch die mangelnde Vermischung kontrolliert. Eine Prognose, wie lang die Schadstofffahne im stationären

Zustand wird, ist sehr wichtig. Reicht der natürliche Abbau nämlich aus, um die Gefährdung eines Brunnens oder eines anderen Schutzgutes auszuschliessen, ist eine aktive Sanierung der Altlast nicht erforderlich.

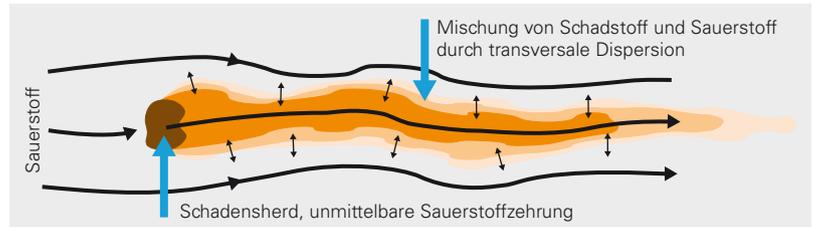


Abb. 1: Typische Situation für den natürlichen Abbau einer Schadstofffahne.

Zustand wird, ist sehr wichtig. Reicht der natürliche Abbau nämlich aus, um die Gefährdung eines Brunnens oder eines anderen Schutzgutes auszuschliessen, ist eine aktive Sanierung der Altlast nicht erforderlich.

## Mischungsverhältnis entscheidend

Wir betrachten Reaktionen vom Typ  $A + B \rightarrow C$  (A: Schadstoff, B: Sauerstoff, C: harmloses Endprodukt). In einem solchen System verhalten sich die Konzentrationssummen der Stoffe A plus C sowie von B plus C jeweils konservativ. Das heisst, dass sich der Transport der Konzentrationssummen im stationären Zustand auf die physikalischen Transportprozesse Advektion (Bewegung mit der Grundwasserströmung) und Dispersion (Stofftransport entgegen der Konzentrationsgradienten) beschränkt. Fliessen zwei Lösungen parallel, die ausschliesslich die Stoffe A bzw. B enthalten, bestimmt die Querverdispersion ihre Vermischung. Aus dem Mischungsverhältnis können die Konzentrationen der Einzelstoffe für folgende Reaktionstypen eindeutig errechnet werden:

- ▶ Gleichgewichtsreaktionen,
- ▶ unmittelbare, irreversible Reaktionen,
- ▶ kinetische Reaktionen, die mit mikrobiellem Wachstum verbunden sind, sofern die Biomasse sich im stationären Zustand befindet.

## Bedienungsfreundliches Berechnungsprogramm

Für einfache hydraulische Randbedingungen wurden an der Eawag Formeln entwickelt, die keine aufwändigen Simulationen erfordern. Es stellte sich heraus, dass unmittelbare, irreversible Reaktionen zu Schadstofffahnen mit einer begrenzten Länge führen, die umgekehrt proportional ist zur Querverdispersivität des Grundwasserleiters. Wird eine Doppel-Monod-Kinetik zur Beschreibung mikrobieller Reaktionen angenommen, sehen die Fahnen zwar sehr ähnlich aus, aber es verbleibt eine kleine Restkonzentration, die nicht mehr weiter abgebaut werden kann. Ein bedienungsfreundliches Berechnungsprogramm mit grafischer Benutzeroberfläche ermöglicht es Praktikern, Fahnenlängen innerhalb von Sekunden vorherzusagen. ○ ○ ○

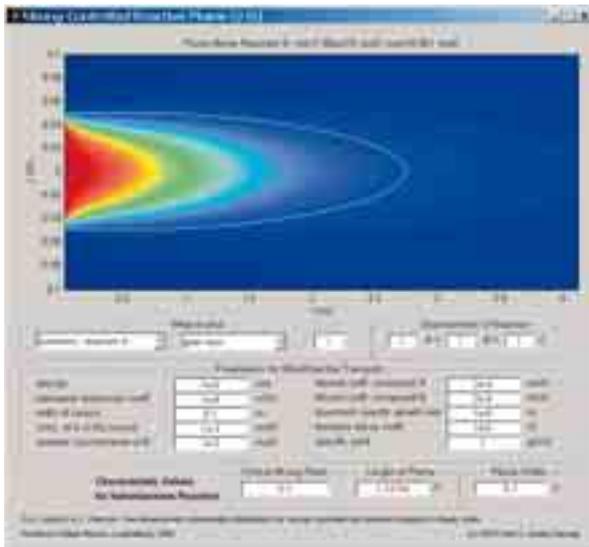


Abb. 2: Benutzeroberfläche des Berechnungsprogramms.

Programmdownload ab

[www.internal.eawag.ch/~cirpkaol](http://www.internal.eawag.ch/~cirpkaol)  
Cirpka O.A., Olsson Å., Ju Q., Rahman M.A., Grathwohl P. (2006): Determination of transverse dispersion coefficients from reactive plume lengths. Ground Water 44 (2), 212–221, 2006.

Cirpka O.A., Valocchi A.J. (2006): Two-dimensional concentration distribution for mixing-controlled bioreactive transport in steady state. Advances Water Resour. (in press).

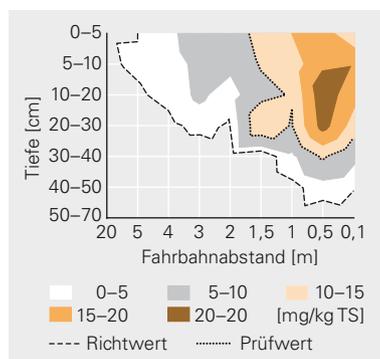
# Strassenbankett dokumentiert Emissionen

**Der Boden entlang von Strassen hält Schadstoffe effizient zurück und schützt das Grundwasser. Das Strassenbankett wird damit zum Archiv für die Belastungen aus dem Motorfahrzeugverkehr. Doch nur etwa die Hälfte der Emissionen gelangt ins Bankett, der Rest wird diffus in die Umwelt verteilt.** Michele Steiner, Markus Boller

In der Schweiz werden Strassen auf weiten Strecken über bewachsene Randstreifen, die so genannten Bankette, entwässert. Die im Strassenabwasser enthaltenen und meist an feine Staubpartikel gebundenen Schadstoffe wie Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) gelangen dadurch in die Böden. Mit mehreren Partnern haben wir über zwei Jahre hinweg ein 50 Jahre altes Bankett entlang einer mit 17 000 Fahrzeugen pro Tag stark befahrenen Kantonsstrasse untersucht.

## Schwermetalle und PAK

Der Boden erweist sich als sehr effizienter Rückhalteort, sowohl für die untersuchten Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink als auch für Antimon und PAK. Entsprechend hoch sind die Schadstoffgehalte in diesem «Archiv» der Schadstoffbelastung. Die für Boden geltenden Richt- und Prüfwerte von Schwermetallen und insbesondere von PAK [1, 2] werden teilweise massiv überschritten. Der PAK-Richtwert wird in den obersten Bodenschichten noch in einem Strassenabstand von 5 m überschritten. Der Prüfwert wird



Verteilung der PAK-Gehalte im Strassenbankett. Richtwert = 1 mg pro kg TS (darunter: Boden gilt als «unbelastet»). Prüfwert = 10 mg pro kg TS (darüber: Gefährdung möglich, Prüfung nach Umweltschutzrecht nötig).

in Bodentiefen bis zu 40 cm und bis zu einem Fahrbahnabstand von 1,5 m erreicht (Abbildung).

## Boden als guter Filter

Trotz der bereits beträchtlichen Schadstoffbelastung weist das untersuchte Bankett aber immer noch eine sehr hohe Reinigungsleistung auf. Eine Grundwasserverschmutzung durch die untersuchten Schadstoffe kann praktisch ausgeschlossen werden. Berechnungen zeigen, dass die verbleibende Rückhaltekapazität noch für Jahrzehnte ausreichen dürfte. So gesehen kann der Bodenaufbau dieses Bankettes als ideal bezeichnet werden, was in die Normen zur Gestaltung von Strassenbanketten einfließen soll. Aus Sicht des Bodenschutzes ist allerdings klar, dass der Strassenrandstreifen langfristig als irreversibel belastet gelten muss – mit entsprechenden Konsequenzen für seine Bewirtschaftung. Neben der Versickerung über das Bankett stehen zur Behandlung hoch belasteter Strassenabflüsse gegen ein Dutzend Verfahrenskombinationen in Diskussion, zum Beispiel mit Filterpaketen aus Geotextilien, Adsorbentmaterialien, Lamellenabscheidern oder Sandfiltern [4, 5].

## Spritzwasser mehr beachten

Mit Hilfe von Massenbilanzen konnten wir abschätzen, über welche Pfade die Schadstoffe in die Umwelt gelangen. Die Schwermetallverteilung im Bankett machte es zudem möglich, diese Schadstoffeinträge detaillierter aufzuschlüsseln und als Funktion des Fahrbahnabstandes zu bestimmen [3]:

► Zwischen 17 und 25% der Schwermetallfracht versickert mit dem direkten Strassenabfluss unmittelbar neben der Fahrbahn ins Bankett.

► 21 bis 38% werden mit dem Spritzwasser bis zu einer Distanz von 5 m



Strasse und angrenzendes Bankett zwischen Burgdorf und dem Autobahnanschluss Kirchberg mit Schacht zur Beprobung des Bodenwassers.

verfrachtet und ins Bankett eingetragen.

► Hauptsächlich an Trockentagen wird ein beachtlicher Teil der Emissionen (37–62%) durch Wind in die nähere und weitere Umgebung verteilt.

Für die Strassenentwässerung bedeuten die Resultate, dass die Breite der versiegelten Fläche im Anschluss an die Fahrbahn eine zentrale Rolle spielt: Je breiter diese ist, desto mehr Spritzwasser und somit mehr Schadstoffe können gefasst, abgeleitet und behandelt werden. ○ ○ ○

**Der Randstreifen schützt das Grundwasser, ist aber selbst irreversibel belastet.**

- [1] Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö); 814.12.
- [2] Buwal (2001): Verwertung von ausgehobenem Boden (Wegleitung Bodenaushub).
- [3] Steiner M., Langbein S., Boller M. (2005): Bankette bestehender Strassen. Untersuchung der Versickerung über Strassenrandstreifen an einer bestehenden Strasse. Eawag und HSB, GSA, BAFU.
- [4] Langbein S., Steiner M., Boller M. (2006): Schadstoffe im Strassenabwasser einer stark befahrenen Strasse und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbentmaterial. Eawag und HSB, GSA, BAFU.
- [5] Hermann E., Schwengeler R., Steiner M., Boller M.: Neue Verfahren zur Behandlung von hoch belastetem Strassenwasser. GWA 12/2005

# Zündstoff im Zürichsee

**Kaum wurde bekannt, dass wie in anderen Seen auch im Zürichsee versenkte Munition liegt, drängte sich die Frage des Risikos auf. Schliesslich ist der See das Trinkwasserreservoir für Hunderttausende. Im Auftrag des Kantons hat die Eawag in der Folge mitgeholfen, eine Risikoabschätzung zu erstellen – absehbare Gefahren für Ökosystem und Trinkwasser konnten glücklicherweise ausgeschlossen werden.** Hans-Peter Kohler

Aufgrund der systematischen Aufarbeitung der Altlastensituation im Eidgenössischen Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) wurde im Jahr 2004 bekannt, dass zwischen 1930 und 1966 im Zürichsee an verschiedenen Orten rund 90 Tonnen Munition versenkt wurden – eine Praxis, die aus heutiger Sicht unvorstellbar ist. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um Ausschuss aus der Produktion von Fliegerabwehrgeschossen der ehe-

maligen Oerlikon Bührle & Co, gelegentlich hat auch die Stadtpolizei Blindgänger oder beschlagnahmte Munition versenkt.

## Know-how zusammentragen

Die brisante Meldung hat ein grosses Medienecho hervorgerufen. Die Baudirektion des Kantons Zürich hat daher unverzüglich eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe\* ins Leben gerufen, welche das Risiko des versenkten «Zündstoffs» für Mensch und Umwelt beurteilen sollte. Inert sechs Monaten hat die Gruppe regelmässig den neusten Stand der Arbeiten diskutiert und Schlussfolgerungen abgeleitet. Der Eawag-Vertreter wurde intern von einem 11-köpfigen Arbeitsteam unterstützt und mit Informationen versorgt. Der Auftraggeber konnte somit für die Beurteilung der Ablagerungen sowie die Erstellung der Risikoabschätzung vom breit abgestützten Know-how der Eawag profitieren, speziell auf den Gebieten Sedimentologie, anorganische und organische Umweltchemie, Umweltmikrobiologie, Umwelttoxikologie und Modellierung.

In einer ersten Phase wurden alle verfügbaren Informationen zu den Ablagerungen gesammelt und ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass es sich bei den kritischen Materialien ausschliesslich um konventionelle

Explosiv- und Hilfsstoffe handelt. Es lagern also beispielsweise keine chemischen Kampfstoffe oder radioaktives Material am Seegrund. Darauf wurde mit verschiedenen Szenarien ermittelt, wie hoch das Seewasser im Extremfall mit Stoffen aus den Munitionsablagerungen belastet werden könnte.

## Bergung wäre risikoreich

In einem 7-stufigen Vorgehen wurden die relevanten Stoffe aus der Liste der abgelagerten Stoffe (Tabelle) ermittelt und einer Risikoabschätzung unterzogen. Diese Beurteilung sowie die Analysen von Wasserproben zeigten glücklicherweise deutlich, dass die abgelagerte Munition weder für das Trinkwasser noch für das Ökosystem Zürichsee eine Gefährdung darstellt. Wir haben

## Die berechneten Konzentrationen liegen um ein Vielfaches unter den kritischen Werten.

mit der Expertengruppe daher klar zum Ausdruck gebracht, dass aus Sicht des Gewässerschutzes eine Bergung der versenkten Munition nicht zu rechtfertigen ist. Das teils weit verstreute Material liegt mittlerweile unter einer 10 bis 20 cm dicken Sedimentschicht. Eine Bergung würde Sediment aufwirbeln und könnte das Ökosystem stärker beeinträchtigen als das Belassen des jetzigen Zustandes. ○ ○ ○

Munitionsablagerungen im Zürichsee	Total [kg]	«Zürcherbecken» 1935–1948 [kg]	«Au» 1951–1966 [kg]
Aethylcellulose	0,7	0,0	0,7
Aluminium	1800,0	0,0	1800,0
Antimontrisulfid	27,7	27,2	0,5
Bariumnitrat	40,5	36,0	4,5
Bariumperoxyd	45,6	19,6	26,0
Binder	200,0	0,0	200,0
Bleiazid	20,8	3,2	17,6
Bleiperoxyd	0,3	0,0	0,3
Bleitrizinat	2,1	0,0	2,1
Calziumsilicid	1,4	0,0	1,4
Cumaronharz	6,7	0,0	6,7
Hexogen	3900,0	0,0	3900,0
Holzkohle	15,0	15,0	0,0
Kaliumchlorat	1,5	1,5	0,0
Kaliumnitrat	132,9	132,9	0,0
Kupfer	1700,0	400,0	1300,0
Quecksilber(II)chlorid	7,0	7,0	0,0
Knallquecksilber	38,3	38,3	0,0
Magnesium	116,1	62,8	53,3
Nitropenta	318,7	314,4	4,3
PVC	16,7	0,0	16,7
Schwefel	10,0	10,0	0,0
Silizium	3,3	0,0	3,3
Strontiumnitrat	60,0	0,0	60,0
Strontiumoxalat	40,9	17,5	23,3
Strontiumperoxyd	36,3	26,3	10,0
Tetrazen	1,3	0,0	1,3
Trinitrotoluol	300,0	300,0	0,0
Weisser Phosphor	100,0	100,0	0,0
Weizenstärke	7,0	7,0	0,0
<b>Summe</b>	<b>8950,8</b>	<b>1518,8</b>	<b>7431,9</b>

Geschätzte Stoffmengen aus den Munitionsablagerungen. Farblich hinterlegt sind die für die Risikoabschätzung relevanten Stoffe.

\* Die Arbeitsgruppe setzte sich zusammen aus Experten des VBS, des Kantonalen Labors, der Oerlikon Contraves AG, der RWM Schweiz AG, der Wasserversorgung Zürich, des kantonalen Amtes für Abfall-Wasser-Energie-Luft (Awel) sowie der Eawag. Die Projektleitung lag beim Awel. Die Projektarbeiten wurden von der BMG Engineering, Schlieren, durchgeführt.

Kanton Zürich, Baudirektion (2005):  
Munitionsablagerungen im Zürichsee: historische Untersuchung und Risikoabschätzung.  
[www.bd.zh.ch](http://www.bd.zh.ch) > Medienforum > Themendossier «Munition im Zürichsee».

# Mit Hilfe von Proteinen auf Stress schliessen

**Die Reaktion von aquatischen Organismen auf chemischen und physikalischen Stress widerspiegelt sich in der Zusammensetzung der Proteine. Moderne massenspektrometrische Methoden liefern die Grundlage für die Identifikation von Stressindikatoren und ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen.** Marc J.-F. Suter, René Schönenberger

Aquatische Organismen sind in ihrem natürlichen Umfeld einem Cocktail von anthropogenen Chemikalien ausgesetzt. Die klassische Risikobewertung konzentriert sich aber auf toxische Effekte von Einzelverbindungen unter genau kontrollierten Bedingungen und vernachlässigt die Auswirkung von Mischungen und zusätzlichen Stressfaktoren wie Temperatur, Licht und Nahrungsangebot. Dabei ist heute bekannt, dass, auch wenn Einzelstoffe unter der tiefsten Effektkonzentration vorliegen, sie im Gemisch sehr wohl einen Effekt im Organismus haben können, wenn ihnen derselbe Wirkmechanismus zugrunde liegt [1].

Die Reaktion eines Organismus auf (multiplen) Stress spiegelt sich zuerst auf der molekularen Ebene, indem Gene aktiviert oder gehemmt werden. Als Folge davon ändert sich die relative Konzentration der Proteine. Ein Vergleich mit ungestressten Organismen zeigt, welche Proteine unter

Stress verstärkt gebildet werden und damit Teil der Stressantwort sind. Sie können als Stressindikatoren verwendet werden, wie zum Beispiel das Eidottersackprotein Vitellogenin, das bei einer Belastung mit Umwelthormonen verstärkt auch bei männlichen Fischen gefunden wird [2].

## Verteidigung angekurbelt

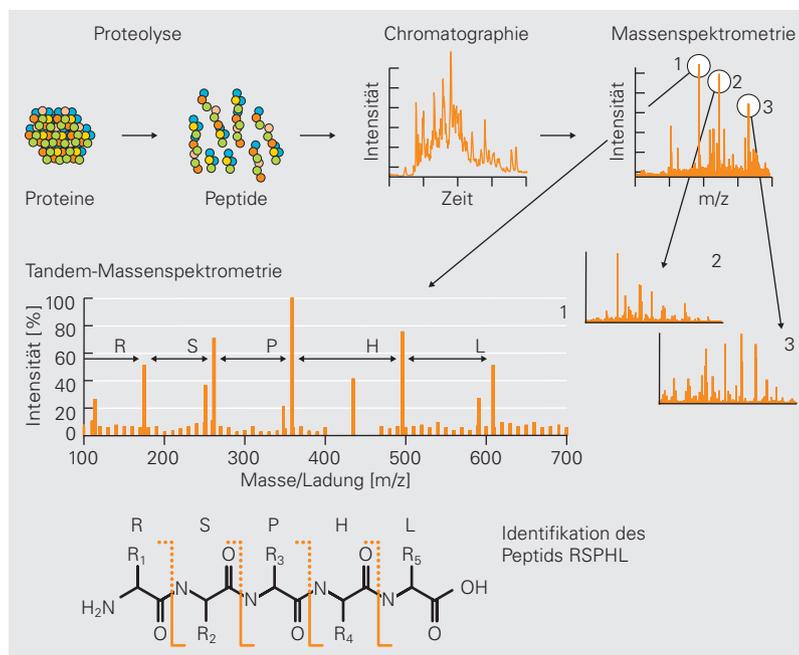
Uns interessiert, wie sich die Proteinzusammensetzung in Zebrafischembryonen bei chemischer Belastung verändert, welche Verteidigungsmechanismen z. B. angekurbelt werden, um die embryonale Entwicklung zu schützen. Speziell verfolgt haben wir die unterschiedliche Wirkung von Cadmium (Cd) und  $17\beta$ -Östradiol (E2), die beide das Hormonsystem beeinflussen. Während 48 Stunden haben wir die Fische jeweils Konzentrationen von 100 ng/l E2 und Cd ausgesetzt und anschliessend die wasserlöslichen Proteine extrahiert. Ihre Identifikation geschieht, indem

die Proteine zuerst enzymatisch verdaut werden, dann die entstandenen Peptide auf einer chromatografischen Säule getrennt und anschliessend jeweils die intensivsten Signale mittels Tandemmassenspektrometrie analysiert werden. Dabei entstehen Spektren, die Information zur Aminosäuresequenz der getrennten Peptide enthalten.

Im gezeigten schematischen Beispiel wurde so das Peptid RSPHL identifiziert. Eine Suche in der Zebrafisch-Genbank liefert schliesslich eine Auswahl von Proteinen, die diese Sequenz enthalten. Werden weitere Peptide zu diesem Protein gefunden, das heisst wird die Aminosäuresequenz zu einem wesentlichen Teil abgedeckt, gilt die Identifikation als signifikant. Gleichzeitig gibt die Anzahl Treffer für dieses Protein einen Hinweis auf die vorhandene Quantität [3].

## Mechanismen aufspüren

Die unterschiedliche Proteinzusammensetzung erlaubt Rückschlüsse auf die zugrunde liegenden Mechanismen, da Proteine spezifische physiologische Aufgaben haben. Die Belastung mit dem «Botenstoff» E2 zum Beispiel führt zur verstärkten Produktion von Vitellogenin und Eihüllenproteinen. Cadmium hingegen löst als Entgiftungsreaktion die Produktion von Metall bindenden Proteinen aus. ○ ○ ○



Schematische Darstellung für das Vorgehen zur Analyse der löslichen Proteine, die aus Zebrafischeiern extrahiert wurden.

- [1] Silva E., Rajapakse N., Kortenkamp A. (2002): Something from «nothing» – eight weak estrogenic chemicals combined at concentrations below NOECs produce significant mixture effects, *Environ. Sci. Technol.* 36, 1751–1756.
- [2] Vermeirssen E.L.M., Burki R., Joris C., Peter A., Segner H., Suter M.J.-F., Burkhardt-Holm P. (2005): Characterization of the estrogenicity of Swiss midland rivers using a recombinant yeast bioassay and plasma vitellogenin concentrations in feral male brown trout, *Environ. Toxicol. Chem.* 24, in press.
- [3] Liu H., Sadygov R.G., Yates J.R.I. (2004): A model for random sampling and estimation of relative protein abundance in shotgun proteomics, *Anal. Chem.* 76, 4193–4201.

# Umweltanalytik – Ein Dritteljahrhundert zwischen Herkules und Sisyphus

Walter Giger



**Walter Giger blickt in diesem Artikel aus persönlicher Sicht auf 33 Forschungsjahre an der Eawag zurück. Zu den Stärken des Spezialisten für chemische Analytik zählt, dass er umweltrelevante Probleme frühzeitig erkannt und immer wieder die richtigen Leute zusammengebracht hat, um diese Fragen anzugehen. Seine wissenschaftliche Arbeit beeinflusste die Schweizer Umweltgesetzgebung und stärkte das internationale Ansehen der Eawag. Obwohl er seit September 2005 in Pension ist, engagiert er sich weiterhin als Redaktor der Fachzeitschrift «Environmental Science & Technology». Die Eawag-Direktion dankt Walter Giger für seine herausragenden Leistungen.**

Anfang 1972 kam ich als frischgebackener analytischer Chemiker an die Eawag. Ich gehörte zur jungen Garde von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren, die in der ersten Phase der Direktionsära von Prof. Stumm frischen Wind in die Eidgenössische Wasseranstalt bringen sollten. Zusammen mit einer hochqualifizierten Gruppe von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern sowie durch die Unterstützung von Direktion, Verwaltung und technische Abteilungen war es mir möglich, im umweltwissenschaftlichen Freiraum der Eawag praxisrelevante Studien durchzuführen. Unsere Projekte waren häufig erfolgreich. Ich denke beispielsweise an die Entwicklung von Analysemethoden für orga-

nische Einzelstoffe – so genannte Mikroverunreinigungen. Diese Methoden wurden anschliessend in Feld- und Laborstudien angewendet, und die damit erzielten Ergebnisse hatten oft entscheidenden Einfluss auf die Umweltschutzpraxis. Daneben gab es aber immer wieder auch Projekte, bei denen wir uns wie Sisyphus plagten, der nach getaner Arbeit stets von vorne beginnen musste.

## **Sedimente – Schnittstellen von Umwelt und Geosphäre**

In unserem ersten Projekt, einem Auftrag des Kantons Zug, untersuchten wir die Sedimente des Zugersees. Die Frage war, ob die Sedimentkohlenwasserstoffe von den Motor-

booten auf dem See stammten. Hier zeigte sich bereits klar unser Arbeitskonzept. Wir gingen von einer sehr praktischen Problemstellung aus und konzipierten unsere Projekte so, dass wir die Ergebnisse in einer internationalen Fachzeitschrift veröffentlichen konnten. Mit Hilfe der damals neuen direkt gekoppelten Gaschromatografie und Massenspektrometrie wiesen wir nach, dass die Motorboote tatsächlich zur Sedimentbelastung beitrugen [1].

Seesedimente begleiteten uns auch später, als wir uns vermehrt mit atmosphärischen Einträgen oder mit den durch Waschmittel verursachten Verunreinigungen beschäftigten. Drei Jahrzehnte nach unserer ersten Sedimentarbeit untersuchten wir beispielsweise – diesmal zusammen mit Kollegen der Empa – die Sedimente des Greifensees. Dabei ging es um polybromierte Kohlenwasserstoffe, die als Flammschutzmittel eingesetzt werden. Wir konnten zeigen, wie sich diese Stoffe in der Umwelt verhalten und dass sie kein unmittelbares Umweltisiko darstellen.

## **Problemstoffe Nonylphenole**

Ein signifikanter Beitrag zur Problematik der Umweltchemikalien gelang uns, als wir in den frühen 80er Jahren Nonylphenolverbindungen in Abwasser und Klärschlamm nachweisen konnten. Diese Verunreinigungen entstanden in der biologischen Abwasserreinigung und in der Klär-



Die Chemiekatastrophe von Schweizerhalle wirkte sich stark auf die Umweltpolitik aus.

schlammbehandlung als Zwischenprodukte des Abbaus der in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzten nichtionischen Nonylphenolpolyethoxylat-Tenside. In diesem Fall waren die Abbauzwischenprodukte toxischer als die Ausgangsstoffe. Insbesondere traten im Klärschlamm sehr hohe Konzentrationen des giftigen Nonylphenols auf. Unsere Ergebnisse, die wir in der renommierten Wissenschaftszeitschrift *Science* veröffentlichten [2], gaben den Anstoss zum Verbot der Nonylphenolpolyethoxylate in Textilwaschmitteln. Eine Massnahme, die in der 1986 in Kraft gesetzten Eidgenössischen Verordnung für umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung) festgeschrieben wurde. Dies obwohl sich die chemische Industrie vehement gegen ein solches Verbot eingesetzt hatte und die Diskussionen mit den Wasch- und Reinigungsmittelfirmen nicht immer fair verliefen. Einerseits wurde die Qualität unserer Ergebnisse angezweifelt und andererseits wurde die Nonylphenol-Problematik als Schweizer Spezialfall dargestellt.

In den 90er Jahren stellte sich schliesslich heraus, dass die Nonylphenolverbindungen hormonelle Wirkungen zeigen. Aus diesem Grund gehören zwei weitere Veröffentlichungen über Nonylphenolverbindungen [3, 4], die sich mit ihrem Verhalten in der aquatischen Umwelt beschäftigen, zu den drei am häufigsten zitierten Artikeln, die in den letzten 15 Jahren in der Zeitschrift *Water Research* erschienen sind.

### Schweizerhalle 1986 – Chemikaliengesetze 2005

In der Nacht auf den 1. November 1986 brannte in Schweizerhalle oberhalb von Basel eine Lagerhalle der Firma Sandoz. Bei diesem Grossbrand wurde der Rhein massiv durch giftige Chemikalien verunreinigt, die mit dem Löschwasser abflossen [5]. Es kam zu einem epochalen Fischsterben im Rhein von Basel bis Holland. In einer vorher kaum erlebten gemeinsamen Anstrengung beschäftigten sich die Eawag-Fachleute einschliesslich Direktor und Vizedirektor mit dieser Ökokatastrophe. Die um-

weltpolitischen Auswirkungen waren substanziell. Derzeit führt die Europäische Union (EU) eine neue Chemikaliengesetzgebung ein. Im Sinne des autonomen Nachvollzugs werden die EU-Massnahmen auch in der Schweiz fast vollumfänglich übernommen. Obwohl eine solche Vereinheitlichung angesichts der europäischen – oder besser globalen – Dimension der Chemikalienproblematik begrüssenswert ist, ist es doch bedauerlich, dass die Schweiz ihre Führungsrolle in diesem Bereich abgegeben hat.

### Analysemethoden gekoppelt

Mitte der 90er Jahre wurde es endlich möglich, auch die Flüssigchromatografie zuverlässig und benutzerfreundlich direkt mit der Massenspektrometrie zu koppeln. Diese Entwicklung hatte rund 20 Jahre gedauert. Damit konnten weitere Mikroverunreinigungen nachgewiesen werden, die in äusserst geringen Konzentrationen in der Umwelt vorkommen und die mit den älteren Analysemethoden nicht erfassbar waren. An der Eawag konzentrierten wir uns auf Antibiotika, hormonell wirkende Substanzen und Korrosionsschutzmittel. Dass solche Substanzen auch im Abwasser und in den Gewässern auftreten, war ja eigentlich zu erwarten gewesen. Aber erst der umweltanalytische Nachweis löste eine breitere Diskussion über diese bis anhin ignorierten Verunreinigungen aus. Inzwischen kennt man ihr Verhalten in der Umwelt genauer. Dazu haben auch die Aktivitäten der Eawag beigetragen. Gegenwärtig bemüht man sich darum, die Wirkungen der Schadstoffe und ihr Umweltrisikozu abzuschätzen. Ein ausserordentlich schwieriges Unterfangen, denn dabei müssen kompliziert aufgebaute und vernetzte biologische Systeme berücksichtigt werden.

### Analytik als Wegbereiter

Über all die Jahre veröffentlichte unsere Gruppe mehr als 120 Beiträge in streng begutachteten, internationalen Fachjournalen [6]. Mehr als 20 dieser Artikel sind über 100-mal zitiert worden, was zeigt, wie wichtig un-

sere Arbeiten für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn waren. Gefördert wurden unsere Aktivitäten durch die multidisziplinäre Ausrichtung der Eawag. Dieses enge Nebeneinander mehrerer Fachgebiete ist eine grosse Stärke der Eawag.

Aus meiner Sicht wurden jedoch in den letzten Jahren die analytisch-chemischen Wissenschaften an der Eawag weniger stark gewichtet, obwohl mit grosser Wahrscheinlichkeit auch weiterhin signifikante Kenntniserweiterungen durch Fortschritte auf diesem Gebiet erwartet werden können. Weitere Entwicklungen sind beispielsweise in den «Life Sciences» und der Nanotechnologie deutlich erkennbar.

Ich würde mir daher wünschen, dass die Eawag auch in Zukunft an vorderster Front tätig ist, um solche Methoden in den Umweltwissenschaften zu etablieren.

Bei allen Kolleginnen und Kollegen, die mich während meinen 33 Jahren an der Eawag begleiteten, möchte ich mich sehr herzlich für die ausgezeichnete Zusammenarbeit bedanken. Ich wünsche allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Eawag viel Erfolg, Befriedigung und Anerkennung.

○ ○ ○

**Es war für mich immer faszinierend, die Arbeitsweise und Denkart von Fachkollegen aus anderen Disziplinen kennen zu lernen.**

- [1] Giger W., Reinhard M., Schaffner C., 1974: Petroleum-derived and indigenous hydrocarbons in Recent sediments of Lake Zug, Switzerland. *Environmental Science and Technology* 8(5), 454–455.
- [2] Giger W., Brunner P.H., Schaffner C., 1984: 4-Nonylphenol in sewage sludge: accumulation of toxic metabolites from non-ionic surfactants. *Science* 225, 623–625.
- [3] Ahel M., Giger W., Koch M., 1994: Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactant in the aquatic environment. 1. Occurrence and transformation in sewage treatment. *Water Research* 28 (5), 1131–1142.
- [4] Ahel M., Giger W., Schaffner C. 1994: Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactant in the aquatic environment. 2. Occurrence and transformation in rivers. *Water Research* 28 (5), 1143–1152.
- [5] Capel P.D., Giger W., Reichert P., Wanner O. 1987: Accidental input of pesticides into the Rhine River. *Environmental Science and Technology* 22 (9), 992–997.
- [6] The Giger Group 1972–2005. Komplette Publikationsliste als PDF erhältlich: [www.eawag.ch/giger-group](http://www.eawag.ch/giger-group)



# Die Eawag

## durch das Jahr

# 2005

**Die vielfältigen Herausforderungen rund ums Wasser haben die Eawag auch 2005, im 70. Jahr ihres Bestehens, auf Trab gehalten. Im Folgenden einige ausgewählte Ereignisse.** Andri Bryner, Ueli Bundi

## Vom Tsunami bis zur Vogelgrippe

Der Jahreswechsel 2004/2005 stand für das Wasserforschungs-Institut Eawag ganz im Zeichen der Tsunami-Katastrophe in Südostasien. Dank der Zusammenarbeit mit lokalen Projektpartnern in Indien und Indonesien konnte vor allem die Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern rasch ihre Dienste für staatliche und private Hilfsorganisationen zur Verfügung stellen. Vielerorts war die Trinkwasserversorgung zerstört. Brunnen in Küstennähe fielen nach dem Eindringen von Salz- und Schmutzwasser längere

Zeit aus. So empfahl die Eawag zusammen mit der WHO zur Überbrückung den Einsatz von Sodis, der solaren Wasserdesinfektion in PET-Flaschen (siehe Seiten 36 und 37). Mit Sodis war die Eawag dann auch präsent im Schweizer Pavillon an der Weltausstellung im japanischen Aichi, wo Projektleiter Martin Wegelin im April den renommierten Energie-Globe-Sonderpreis entgegennehmen durfte.

Zwei weitere Umweltereignisse haben uns 2005 beschäftigt: Im August die grossen Hochwasser in der Schweiz und ab November die auch nach Mitteleuropa getragene Vogelgrippe. Das Hochwasser hat den

Standort Kastanienbaum der Eawag direkt betroffen; das Institut war tagelang kaum trockenen Fusses zu erreichen, und einzelne Bauten standen im Wasser des Vierwaldstättersees. Die Vogelgrippe hat sich zwar im Verlauf des Winters eher zur Mediengrippe entwickelt. Sie warf aber dennoch Fragen zur Trinkwassersicherheit auf, namentlich bei den Seewasserwerken. Sachlich konnten hier unsere Trinkwasserspezialisten Entwarnung geben: Zum einen ist die Konzentration von allenfalls in den



Zwischen Bergkristall, Kunst und Innovation aus der Schweiz: Die solare Wasserdesinfektion Sodis an der Weltausstellung im japanischen Aichi.

Oben: Der Neubau Forum Chriesbach im November 2005. Vor den Fluchtbalkonen werden die drehbaren Glaslamellen montiert, welche in der warmen Zeit die Fassade beschatten. Unten: Betriebsausflug zum Thema Nachhaltigkeit – Eawag-Mitarbeitende besuchen einen Recycling-Betrieb (Bilder: Andri Bryner).



Vom hohen Wasserstand des Vierwaldstättersees war Ende August auch die Eawag in Kastanienbaum betroffen.

Seen vorhandenen Viren äusserst gering, ja es ist nicht einmal nachgewiesen, dass Vogelgrippeviren bis in diejenigen Seetiefen gelangen, wo die Fassungen liegen. Zum andern sind alle Seewasserwerke mit effizienten Aufbereitungsstufen versehen, welche als Sperren für Viren einen hohen Schutz garantieren. ○ ○ ○

## Spitzenplatz bestätigt

Eine unabhängig durchgeführte, internationale «Benchmarking»-Studie hat der Eawag im Frühling 2006 für die Bereiche Umweltwissenschaften und insbesondere Wasserforschung einen Spitzenplatz bestätigt. Unter die Lupe genommen wurden die Publikationen der Jahre 1994 bis 2003 aus neun renommierten Forschungsinstitutionen, darunter die Universitäten von Stanford, Berkeley und Tokyo, die technische Hochschule von Delft oder das Umweltforschungszentrum Leipzig. Ein grosses Engagement sorgt dafür, dass diese erfreuliche Position weiterhin gehalten werden dürfte. So konnten auch 2005 mehrere Eawag-Forscherinnen und -Forscher für ihre Arbeiten Preise entgegennehmen. Stellvertretend für alle seien zwei erwähnt: Der «Best paper award» der Zeitschrift «Environmental Science and Technology» für die

erfolgreichen Arbeiten an einem feldtauglichen Arsen-Biosensor (Michael Berg) sowie der erstmals verliehene «Poul Harremoës Award» der «International Water Association, IWA» für innovative Ansätze in der Siedlungswasserwirtschaft (Christoph Ort). ○ ○ ○

## Mit der Landwirtschaft im Dialog

Nitrat, Pestizide und Antibiotika – die Schlagzeilen um Stoffe aus der Landwirtschaft, die nicht in die Gewässer und schon gar nicht ins Trinkwasser gehören, brechen nicht ab. Am 8. März 2005 liessen sich an der ETH Zürich gegen 400 Fachleute und Interessierte am Eawag-Infotag über die aktuelle Situation im Spannungsfeld Landwirtschaft und Gewässerqualität informieren. Eine der grossen Stärken der Fachveranstaltung war der Dialog zwischen Vertreterinnen und Vertretern aus der Wasserforschung, der Agrarwirtschaft sowie



Eawag-Forscherin Kathrin Fenner am Infotag 2005.

kantonalen und nationalen Ämtern. Wir konnten aufzeigen, dass die bisher angewandten Ökomassnahmen zwar Erfolg zeigen, jedoch die bis 2005 angestrebte Halbierung der Gewässerbelastung durch Pestizide nicht sichern konnten. Eine standortangepasste Landwirtschaft könnte nicht nur im Bereich der Pestizide, sondern auch für die unerwünschten Einträge von Nährstoffen in die Gewässer noch viel bewirken (siehe Seite 45). Zahlreiche Medienberichte zum Infotag haben diese Aussage aufgenommen.

[www.eawag.ch/events/infotag05](http://www.eawag.ch/events/infotag05)

## Grosses Interesse an den Fischen

Gleich an drei grösseren Anlässen der Eawag standen 2005 die Fische im Zentrum: Am 26. Januar haben die Fachleute des Projekts «Fischnetz+» [www.fischnetz.ch](http://www.fischnetz.ch) in Olten



Auf einer Exkursion liessen sich Teilnehmende des Brienzersee-Symposiums vor Ort über den geplanten Höherstau des Grimselsees orientieren.



Eawag

Am Abend der Naturwissenschaften in Luzern ermöglichen die Eawag-Aquarien einen Blick in den Vierwaldstättersee. Im Bild ein Balchen (Felchenart).

informiert über den neuesten Stand der Forschung zum Rückgang der Fischbestände in Schweizer Fließgewässern. Am 23. September luden Eawag, Kanton Bern und die Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie zum Symposium Brienzersee [www.eawag.ch/brienzersee](http://www.eawag.ch/brienzersee), und am 19. November führte die an der Eawag angesiedelte Fischereiberatungsstelle ein viel beachtetes Seminar durch zum umstrittenen Einsatz von Jungfischen in natürliche Gewässer.

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

## Forschung unter die Leute gebracht

Auch 2005 hat die Eawag Gelegenheiten genutzt, die Wasserforschung einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren: Im Rahmen des 150-Jahre-Jubiläums der ETH Zürich beteiligten wir uns vom 21. April bis zum 8. Mai an der Ausstellung «Welten des Wissens» auf dem Zürcher Platzspitzareal. Wir zeigten unter anderem, dass das Grundwasser unter dem Ausstellungsgelände sowie Limmat- und Sihlwasser verschieden zusammengesetzt sind und verschiedene Lebensgemeinschaften darin vorkommen. Prominent vertreten war

die Eawag am «Abend der Naturwissenschaften» zum 150-Jahr-Jubiläum der Naturforschenden Gesellschaft Luzern. Ein Vorlesungszelt zog zahlreiches Publikum an, ebenso die Aquarien mit einheimischen Fischen, wo insbesondere die Geschichte der verschollen geglaubten Vierwaldstättersee-Grossfelchenart «Edelfisch» zu faszinieren vermochte (siehe Seite 21). ○ ○ ○

## Hoher Besuch

Auch 2005 haben wir vielfältige Besuchswünsche erfüllt: Vom Männerturnverein Erstfeld bis zum Personal des ETH-Rats, von der Delegation eines grossen Wasserwerks in Japan bis zu derjenigen aus dem «Institute



Eawag

Der österreichische Botschafter Aurel Saupé diskutiert in der Versuchshalle mit Max Maurer über die Zukunft der Siedlungswasserwirtschaft.

Das schlichte Betonskelett des Forums Chriesbach samt Richtbaum im Sommer 2005

of Hydraulic Engineering» aus dem niederländischen Delft – insgesamt 31 Gruppen wurden verschiedene Aspekte der Eawag vorgestellt. Besonders gefreut hat uns das grosse Interesse des österreichischen Botschafters Aurel Saupé an der Schweizer Wasserforschung. ○ ○ ○

## Neubau kurz vor dem Bezug

Am 2. Juni 2005 konnte die Aufrichte für den Neubau Forum Chriesbach gefeiert werden. Das gemeinsam von Eawag und Empa geplante, samt Umgebungsgestaltung auf rund 32 Millionen Franken veranschlagte Gebäude wird im Juni 2006 bezogen. Es ersetzt ein Mietobjekt und deckt neue Bedürfnisse für Forschungs- und Ausbildungsaktivitäten ab. Nebst Büros sind im Bau des Architekten Bob Gysin Seminarräume und ein Hörsaal entstanden, die neue Eawag/Empa-Bibliothek und das vom Gastro-

Eawag



unternehmen DSR betriebene Goût-Mieux-Restaurant «aQa». Das Besondere am neuen Haus ist zum einen seine Architektur, die mit einem Atrium im Innern und einer Glaslamellenfassade nach aussen deutliche Akzente setzt. Zum anderen weckt das Objekt bereits vor dem Bezug grosses Interesse unter Fachleuten, weil es dank minimalem Energieverbrauch und mit innovativer Haustechnik (Urinseparierung, Solarenergienutzung, Regenwassernutzung etc.) ökologisch vorbildliche Konzepte umsetzt. Parallel zum Bau des Forums Chriesbach wurden 2005 auch die Vorarbeiten für den neuen Kinderpavillon sowie zur Aufstockung und Sanierung des Bürogebäudes vorangetrieben. Infos und webcam:

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

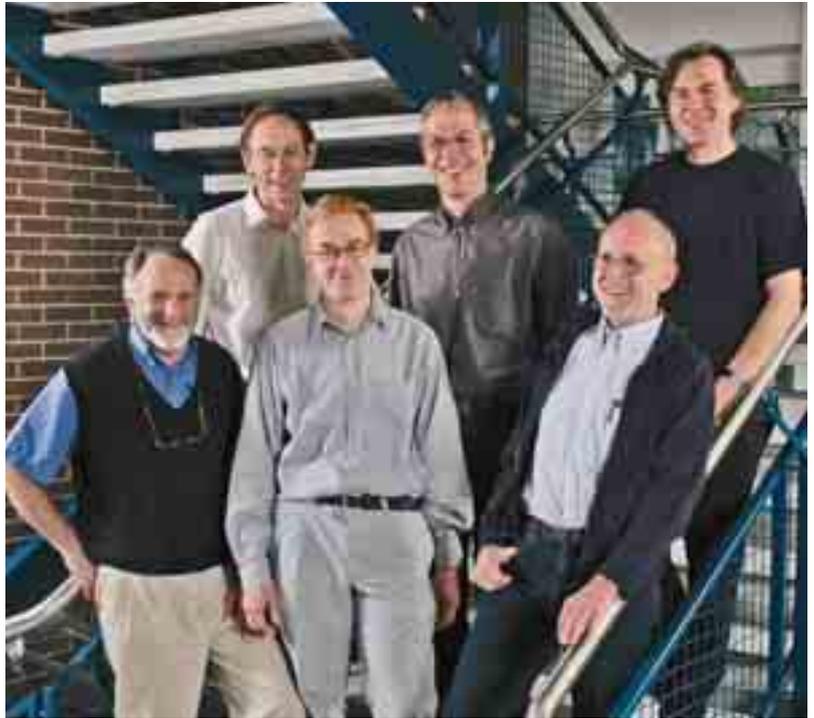
## Medial präsent

Die Medienpräsenz der Eawag ist auch 2005 erfreulich ausgefallen. 808 Beiträge registrierten wir in Zeitungen, elektronischen Medien und nicht wissenschaftlich ausgerichteten Zeitschriften. Mehrfach im Fokus standen hormonaktive Substanzen im Abwasser, so unter anderem in



TV-Aufnahmen im Labor.

Charles Seiler



Die wieder erweiterte Direktion: Roland Schertenleib, Willy Gujer, Peter Reichert, Rik Eggen, Ueli Bundi, Bernhard Wehrli (von links).

Berichten des Westschweizer Fernsehens und der Tagesschau. Allein rund 40 Beiträge standen im Zusammenhang mit dem Infotag zum Thema Landwirtschaft und Gewässerqualität. Dazu gelangen unter anderem längere Berichte über die Forschung am Wildfluss Tagliamento, die mikrobielle Qualität von Trinkwasser oder unsere Untersuchungen zum flussnahen Grundwasser. ○ ○ ○

## Neue Köpfe in der Direktion

Per April 2005 wurde die Direktion um drei Mitglieder erweitert: Rik Eggen, Peter Reichert und Bernhard Wehrli. Seit 2000 haben vier Direktionsmitglieder die Eawag verlassen,

### Aufgabenbereiche Eawag-Direktion

**Ueli Bundi** Planung/Leistungsvereinbarung/Controlling, Aussenbeziehungen/PR und Kommunikation, Finanzen, Personal- und Kulturentwicklung, Gleichstellung, Eawag-Ökologie

**Rik Eggen** Handlungsfeld Chemikalien und Effekte, Apparative Ausrüstung, Sicherheit

**Willy Gujer** Handlungsfeld Siedlungswasserwirtschaft, Zusammenarbeit mit Fachhochschulen

**Peter Reichert** Handlungsfeld Aquatische Ökologie, Weiterbildung, Informatik

**Roland Schertenleib** Public Services, Immobilien, Sicherheit

**Bernhard Wehrli** Zusammenarbeit mit Hochschulen

Hannes Wasmer † und James Ward mit ihrer Pensionierung, Alexander Zehnder mit der Wahl zum Präsidenten des ETH-Rats und René Schwarzenbach als Vorsteher des Departements Umweltwissenschaften an der ETH Zürich. Um das Forschungsmanagement kümmert sich die gesamte Direktion. Die anderen Aufgabenbereiche sind neu verteilt worden (siehe Kasten). ○ ○ ○

## Neue Stelle für Chancengleichheit

Nach rund 10 Jahren Unterbruch ist im März 2005 an der Eawag wieder eine Teilzeitstelle für Chancengleichheit geschaffen worden. Als Beauftragte für diesen Bereich hat die Direktion Gabriella Meier Bürgisser gewählt. Sie leitet Gender-Arbeitsgruppen und bearbeitet Fragen der Gleichstellung sowie Themen wie Wertschätzung am Arbeitsplatz oder Karriereplanung. Zusammen mit den Ombudspersonen berät die Stelle ausserdem Mitarbeitende, die sich in irgendeiner Art diskriminiert fühlen. Sie arbeitet eng mit ähnlichen Stellen im ETH-Bereich und in der Bundesverwaltung zusammen. ○ ○ ○

## Aus dem Personal

### Neu an der Eawag

Unter anderen sind im Verlauf von 2005 folgende Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter neu an die Eawag gekommen:

► **Bas den Brook:** Der Niederländer ist für die Vorbereitung der neuen Eawag/Empa-Bibliothek bereits im Februar nach Dübendorf gekommen und ist gemeinsam von Empa und Eawag angestellt. Seit anfangs 2006 leitet er die Bibliothek, die im Neubau Forum Chriesbach untergebracht wird. Bas den Brook hat in Utrecht Geologie studiert und zuletzt als Oberassistent am Geologischen Institut der ETH Zürich gearbeitet.

► **Markus Oser:** Im Februar ist Markus Oser zum Technischen Dienst gestossen. Er übernimmt im Betrieb und Unterhalt der Eawag-Liegenschaften weitgehend die Funktionen von Claude Jaques. Markus Oser war zuletzt bei der Swisscom-Immobilien AG tätig.

► **Jukka Jokela:** Der Hydrobiologe hat im Sommer die Leitung der interimistisch von Marc Gessner geführten Abteilung Limnologie übernommen, die nun neu Abteilung Aquatische Ökologie heisst – gleich wie Jukka Jokelas Professur an der ETH Zürich. Der Finne hat eine Dissertation geschrieben über die Lebenszyklen von Süsswassermuscheln und sich an der Indiana University den Süsswasserschnecken Neuseelands gewidmet. Von 1996 bis 2000 war er an der ETH Zürich Oberassistent und seither «Senior Research Fellow» an der Universität Oulu. Spezielles Interesse hat er an Evolutionsökologie.

► **Juliane Hollender:** Die Biochemikerin hat in Bonn und Freiburg studiert und in Berlin im technischen Umweltschutz ihre Doktorarbeit verfasst zum Abbau von Phenolen. In Aachen hat sie an der medizinischen Fakultät weiter mit organischen Spurenstoffen gearbeitet und über das Monitoring dieser Stoffe und ihrer Metaboliten habilitiert. Sie hat im September die aus den zwei Abteilungen «Wasser und Landwirtschaft» sowie «Chemische Problemstoffe» zusammengeführte neue Abteilung Umweltchemie übernommen. Von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen ist sie zur ausserplanmässigen Professorin ernannt worden.

### In den Ruhestand getreten

► **Heinrich Bühler:** Seine Dissertation verfasste der Mikrobiologe Heinrich Bühler zum bakteriellen Abbau von Öl im Sediment. Später programmierte er auf dem Computer erste Seemodelle. Greifen- oder Sempachersee waren Patienten, an deren Sanierung der Eawag-Vertreter in der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee mit-

gewirkt hat. Auch im kanadischen Ontario befasste er sich mit See-sanierung durch Belüftung. Mit einem Flair für Zahlen lieferte er vielen die Grundlagen für weitere Arbeiten, insbesondere mit Seedaten. Heinrich Bühler hat aber auch verblüfft durch fast philosophische Ansätze: Ihm war stets bewusst, dass selbst die besten Computermodelle Modelle bleiben und nur denjenigen Teil der Welt beschreiben, der für den Programmierer gerade von Interesse ist. Ein ganzheitlicher Schutz von Natur und Umwelt lag ihm daher nahe; als Pflanzenkenner war er langjähriges Mitglied im Eawag-Umwelt-Team. Eintritt 1968, Abteilung Limnologie, dann Systemanalyse und Modellierung.

► **Robert Stöckli:** Von einer Prüfhalle der Empa wechselte der Mechaniker Robert Stöckli in die Eawag-Werkstätte in Zürich-Tüffenwies. Rasch wurde er stellvertretender Leiter des kleinen Betriebs. Das Austüfteln und Herstellen von speziellen Vorrichtungen für die Wasserforschung liessen ihn manches Mal nicht nur Pausen, sondern gar den Feierabend vergessen. Aber es gab kein technisches oder mechanisches Problem, das Robert Stöckli am Ende nicht gelöst hätte. Wie nachhaltig er ans Werk ging, sah man unter seinem Arbeitsplatz, wo sich Geräte und Materialien sammelten, die später für andere Dinge Wiederverwendung fanden. Mit Reisen, Gartenarbeit, Engagement im Schiessverein und anderen Hobbys wird es ihm auch nach dem Abschied von der Eawag sicher nicht langweilig. Eintritt 1969, Werkstatt.

► **Jürg Bloesch:** Sich selbst bezeichnete der Limnologe Jürg Bloesch einmal als «Trapper». Als Spezialist für Sedimente und den Stoffhaushalt von Seen entwickelte und testete er nämlich die Sedimentfallenmethode und befasste sich mit Partikelfluss

und Rücklösung – sei es im heimischen Vierwaldstättersee oder im Eriesee in Kanada. Er vertrat die Eawag und den Bund in mehreren internationalen Gremien, unter anderem in der Societas Internationalis Limnologiae (SIL), und arbeitete mit an Missionen zum Lago Ipacarai in Paraguay und an den Ohridsee zwischen Albanien und Mazedonien. Der Einfluss des Kühlwassers aus dem Kernkraftwerk Beznau auf die Aare oder die Auswirkungen von Restwassersituationen zählten zu seinen Forschungsthemen an Flüssen. Von 1988–1994 leitete er die Eawag-Studie «Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees». Als langjähriger Präsident der Internationalen Arbeitsgemeinschaft Donauforschung (IAD) ist er dem zweitgrössten Strom Europas und dessen Ökologie besonders verbunden. Eintritt 1970, Limnologie.

► **Walter Giger:** 33 Jahre hat der Spezialist für chemische Analytik an der Eawag geforscht. Mit einer guten Nase erkannte er umweltrelevante Probleme immer wieder frühzeitig und brachte sowohl innerhalb der Eawag als auch von extern die richtigen Leute zusammen, um die entsprechenden Fragen anzugehen. Walter Giger blickt in seinem Beitrag auf Seite 52 aus persönlicher Sicht auf diese Zeit zurück. Eintritt: 1972, Abteilung Chemische Problemstoffe.

► **Robert Berger:** Die Stelle als Betriebsmechaniker trat Robert Berger noch in der Eawag-Werkstatt in Zürich-Tüffenwies an. 1989 übernahm er die Leitung der Werkstatt, die 1997 nach Dübendorf umgezogen war. Nun hat er sein Team an Peter Gäumann übergeben. Wenn es um Mechanik ging, konnte Robert Berger so schnell niemand etwas vormachen. Mit der Präzision eines Uhrmachers

begab er sich hinter die Konstruktion von Spezialanfertigungen und stellte die teils ausgefallenen Wünsche der Forschenden immer zufrieden. Tatsächlich sind Uhren eines seiner Hobbys. In Bergers privater Werkstatt für Metallbearbeitung ruht daher die Drehbank auch nach seiner Pensionierung nicht. Wanduhren werden kundig repariert, und wenn Zeit dazu ist, wird an der Miniatur einer Turmuhr gearbeitet. Eintritt 1987, Werkstatt.

► **Ueli Joss:** In einer Zeit, in welcher die Eawag stark gewachsen ist, hat Ueli Joss den Bereich Finanzen, Einkauf und kaufmännische Dienste (FEKD) geleitet und massgebend geprägt. Schrittweise realisierte er ein modernes Finanz- und Verwaltungsmanagement und optimierte den EDV-Einsatz. Mit Fachkenntnis und Einsatz – fern von der sprichwörtlichen Buchhalter- oder Beamtenmentalität – trieb er die Eawag-Administration so weit voran, dass sie innerhalb des ETH-Bereichs Massstäbe gesetzt hat. Mit dem Gespür für das zugunsten der Eawag gerade noch Machbare reagierte er innovativ und flexibel auf die Herausforderungen, welche zum Beispiel mit der Vernetzung oder der Zunahme des Drittmittelanteils einhergingen. Als Naturfreund engagierte sich Ueli Joss auch im Umwelt-Team. So gehen unter anderem die Ökoabgaben auf Flug- und Autoreisen auf seinen Einsatz zurück. Eintritt: 1988, FEKD.

► **Helga Reutimann:** Nach neun Jahren im Direktionssekretariat hat Helga Reutimann die Eawag verlassen und ist in den Ruhestand getreten. Sie war Ansprechperson für alle, mit denen Ueli Bundi vernetzt ist, hat Termine vereinbart, Sitzungen organisiert, Berichte zusammengestellt und redigiert oder Vorlesungsmanuskripte und Folien vorbereitet.

Dabei hat sie sich allmählich so in die Finessen der Textverarbeitungs- und Präsentationsprogramme eingearbeitet, dass sie auch in diesen Belangen zur Auskunftsstelle wurde für andere. Eintritt: 1996, Direktion.

## Verstorben

► **Paul Nänny (1919–2005):** Im Alter von 85 Jahren ist der Hydrogeologe Paul Nänny am 31. August 2005 in Zürich gestorben. Er trat 1948 in die Eawag ein und hat von 1961 bis zu seiner Pensionierung 1984 die Abteilung Geologie geleitet. Paul Nänny befasste sich an der Eawag vorab mit gutachterischer Tätigkeit, wo er sich insbesondere bei kantonalen Fachstellen bei der Erkundung von Grundwasservorkommen und Grundwasserverunreinigungen profilierte. Als geschätzter Berufsmann amtete er in Fachkommissionen des Instituts für Orts-, Regional- und Landesplanung der ETH Zürich. Eine enge fachliche Zusammenarbeit verband ihn mit Professor Ernst Trüeb (Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft), mit dem er mehrere wissenschaftliche Forschungsarbeiten begleitete, darunter die Grundwasseruntersuchungen zum Kraftwerk Rheinau oder die Erkundung des Tösstal-Grundwassers. In der Gesellschaft für Hydrogeologie, wo er Gründungsmitglied war, nahm man ihn bis ins hohe Alter als erfahrenen «senior-Scientist» wahr, der neue Entwicklungen aufmerksam mitverfolgte. Mit seinem Hinschied verlieren die Hydrogeologen eine Persönlichkeit, die in den sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts ihre Wissenschaft prägte. ○ ○ ○

# Umweltmanagement ist Alltag

Thomas Lichtensteiger, in Zusammenarbeit mit dem Umwelt-Team

Die Eawag trägt mit ihrer Forschung, Lehre und Beratung auf unterschiedlichen Skalen zur nachhaltigen Entwicklung bei. Das Ausprobieren und Umsetzen von Optimierungsschritten bezüglich der Ausgestaltung und Nutzung der Standorte in Dübendorf und Kastanienbaum ist Teil davon. Es betrifft Bereiche wie die Gebäudeerstellung und -nutzung, die Umgebungsgestaltung, die Ernährung, der soziale Umgang, den Ressourcenverbrauch, die Mobilität und den Wissenstransfer. Der Arbeitsplatz wird somit auch zum Objekt des Experimentierens im Sinne des Findens und Weiterentwickelns von Visionen, aber auch des Umsetzens der von uns mitpropagierten ökologischen Verbesserungen im eigenen Alltag. Das Umweltmanagement an der Eawag wird zum integralen Bestandteil des Managements und berücksichtigt zunehmend auch die weiteren Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung. Das Umwelt-Team gibt zusätzliche Impulse und wirkt unterstützend. Die Verwirklichung des Neubaus Forum Chriesbach in Dübendorf als Passivenergiehaus mit No-Mix-Toiletten, ökologischer Materialwahl und Regenwassernutzung, die bevorstehenden ökologischen Umbauten von Gebäuden und Umgebung sowie der Wechsel zu einem Goût-Mieux-Restaurant sind Ausdruck dieses neuen Managements.

## Schrott und was dann?

Transparenz durch Kommunikation erachten wir auch im Umweltmanagement als wesentlich. Auf Initiative des Umwelt-Teams zeigten Abnehmer von Eawag-Altstoffen im Rahmen der Eawag-Exkursion 2005, wie sie aus den Altstoffen hochwertige Sekundärrohstoffe herstellen. An der Eawag wurden z. B. 2005 pro Kopf 15 kg Elektro- und Elektronikschrott abgegeben. Daraus lassen sich unter anderem Kupfer (gut 0,5 kg pro Person) abtrennen sowie wertvolle Edelmetalle. Diese lassen sich in Kupferhütten pyrometallurgisch aufbereiten. Parallel zur Exkursion wurden an der Eawag die internen Entsorgungsanleitungen für Dübendorf und Kastanienbaum aktualisiert und mit Erklärungen zur nachfolgenden Aufbereitung ergänzt, um so die Sensibilisierung der Mitarbeitenden im Umgang mit Wert- und Altstoffen zu steigern.

## So hell wie nötig

Recyclingpapiere benötigen rund dreimal weniger Energie und Wasser als Frischfaserpapiere. Mit der Einführung des neuen Corporate Designs wurde im 2005 konsequent auf ein helles Recyclingpapier («Blauer Engel») umgestellt. Damit können wir weitgehend auf weisses Papier verzichten.

Für Eawag-Mitarbeitende wurden auf Initiative des Umwelt-Teams die Generalabonnement-Bedingungen für den öffentlichen Verkehr (ÖV) weiter verbessert. Für Dübendorf



Fachkundige Veloreparatur in der Eawag-Werkstatt – die Eawag beteiligt sich 2006 an der Aktion «bike to work» der IG Velo Schweiz.

dorf wurde zusammen mit der Empa bei der zuständigen Regierungsrätin ein Velo- und Fussweg entlang des Chriesbachs beantragt zur Verbesserung der Veloverbindung vom Bahnhof Stettbach zum Eawag/Empa-Gelände. Feldarbeiten lassen sich nicht immer mit dem öffentlichen Verkehr oder dem Fahrrad abwickeln. Doch für viele Tätigkeiten ist ein emissionsarmes Kleinverbrauchsfahrzeug ausreichend. Für Kastanienbaum wurde daher ein Opel Combo 1,6 CNG (Erdgas, Biogas) beschafft.

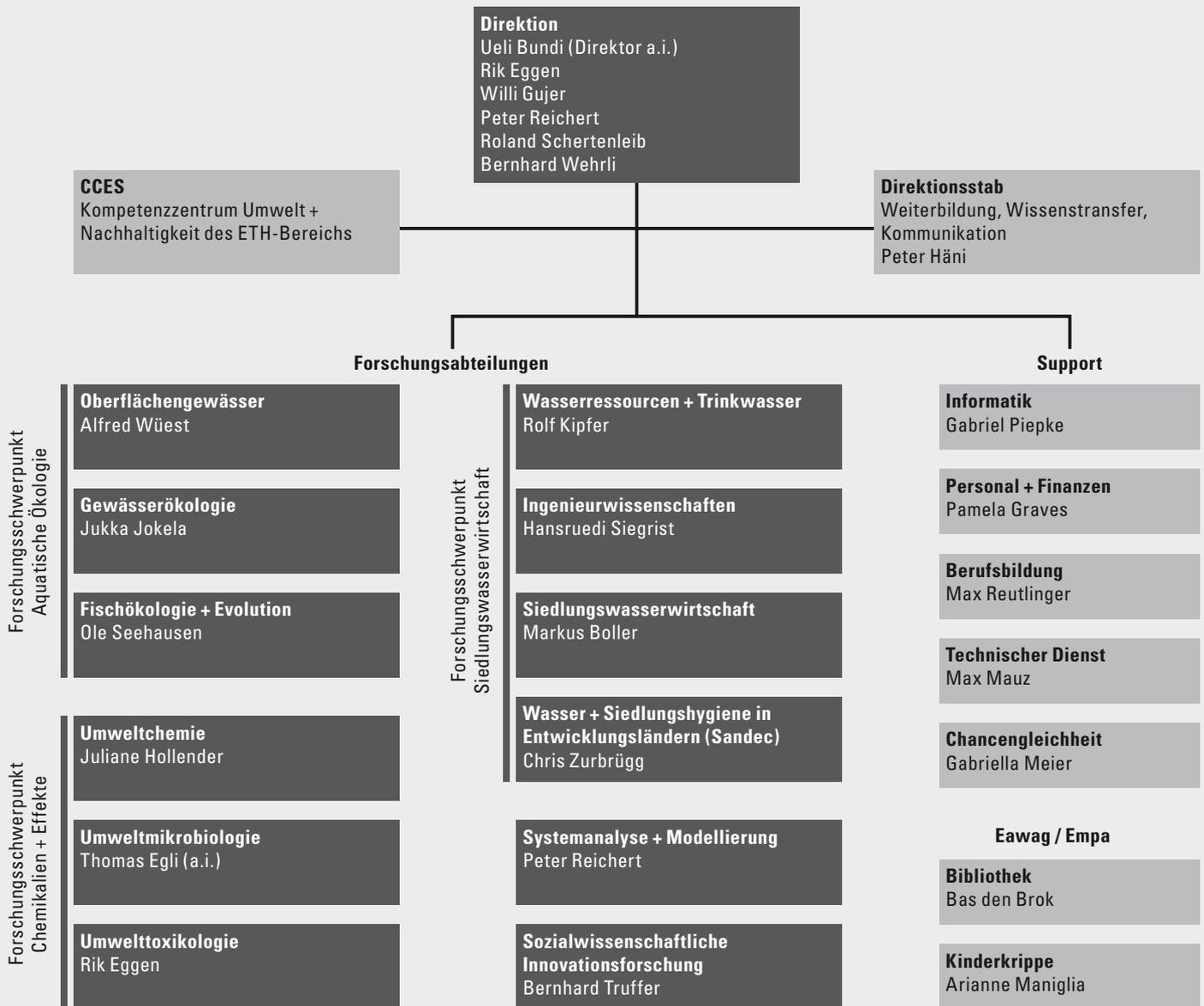
## Über den Dächern

Flugreisen werden seit zwei Jahren mit CO<sub>2</sub>-Kompensationsabgaben belastet. Damit konnten auch 2005 CO<sub>2</sub>-Reduktionsprojekte der inzwischen vereinten Organisationen Clipp und Myclimate unterstützt werden. Ausserdem erlaubten die Abgaben eine Aufstockung des Eawag-Fonds für interne Energiemassnahmen. Die darin enthaltenen rund 30 000 Franken sollen für eine Vergrößerung der Fotovoltaikanlage auf dem Bootshausdach in Kastanienbaum und für Ecodrive-Kurse verwendet werden.

○ ○ ○

[www.umwelt.eawag.ch](http://www.umwelt.eawag.ch) gibt Aufschluss über die stofflichen und energetischen Verbrauchszahlen der Eawag im Vergleich zu den Vorjahren und zu den Zielwerten für 2025.

# Organisation



Stand 1.1.2006

## Beratende Kommission



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



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



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



**Bernhard Jost**  
(bis Mai 2005)  
Abteilungsleiter  
Gewässerschutz,  
Awel, Kanton Zürich



**Claude Martin**  
Directeur Général  
WWF – World Wide  
Fund for Nature,  
Gland



**Jürg Meyer**  
(ab Oktober 2005)  
Präsident VSA,  
Abwasser- und  
Gewässerschutz-  
fachleute, Zürich



**Philippe Roch**  
Direktor (bis Sept. 05),  
Bundesamt für  
Umwelt, Wald  
und Landschaft  
(Buwal/Bafu), Bern

**Direktion**



Ueli BUNDI (Direktor a.i.)



Rik EGGEN



Willi GUJER



Peter REICHERT



Roland SCHERTENLEIB



Bernhard WEHRLI

**Direktionsstab**



Peter HÄNI  
Leitung



Herbert GÜTTINGER  
Weiterbildung



Isabelle WIEDMER  
Wissenstransfer



Andri BRYNER (a.i.)  
Kommunikation

**Forschungsabteilungen**



Alfred WÜEST



Jukka JOKELA



Ole SEEHAUSEN



Juliane HOLLENDER



Thomas EGLI (a.i.)



Rik EGGEN



Rolf KIPFER



Hansruedi SIEGRIST



Markus BOLLER



Chris ZURBRÜGG



Peter REICHERT



Bernhard TRUFFER

**Support**



Gabriel PIEPKE



Pamela GRAVES



Max REUTLINGER



Max MAUZ



Gabriella MEIER



Bas den BROK



Arianne MANIGLIA

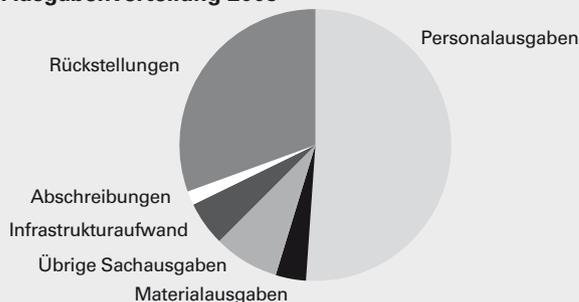
# Finanzen

Erfolgsrechnung	2003	2004	2005
Personal	33 353 622	33 176 228	33 136 459
Material	1 607 556	2 010 300	2 310 907
Übriger Sachaufwand	5 013 302	4 836 881	5 051 942
Infrastrukturaufwand	2 393 172	3 296 021	3 399 665
Abschreibungen	2 253 097	1 198 857	1 029 614
Rückstellungen	3 782 435	7 068 173	19 660 190
<b>Aufwand</b>	<b>48 403 184</b>	<b>51 586 460</b>	<b>64 588 777</b>
Bundesbeitrag	44 204 627	46 645 700	46 624 468
Drittmittel	10 481 330	9 366 328	10 293 942
Diverse Erlöse	877 753	620 832	1 110 280
Auflösung Rückstellungen	* 11 562 390	0	0
<b>Ertrag</b>	<b>67 126 100</b>	<b>56 632 860</b>	<b>58 028 690</b>
<b>Ergebnis</b>	<b>18 722 916</b>	<b>5 046 400</b>	<b>-6 560 087</b>

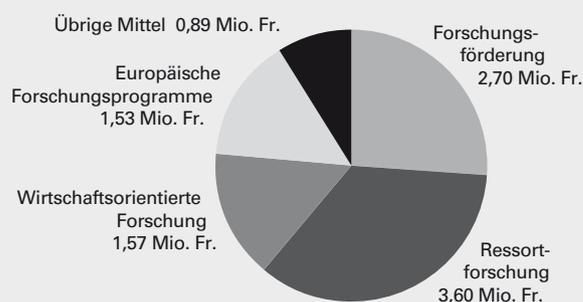
\* Die in den Jahren 2000 bis 2002 getätigten Baurückstellungen von 11,6 Mio. Fr. wurden 2003 erfolgswirksam aufgelöst.

Investitionen	4 910 643	8 306 818	20 929 645
Immobilien	2 396 895	6 809 532	18 463 636
Mobilien	1 996 577	1 305 748	2 259 269
Informatik	517 171	191 538	206 740

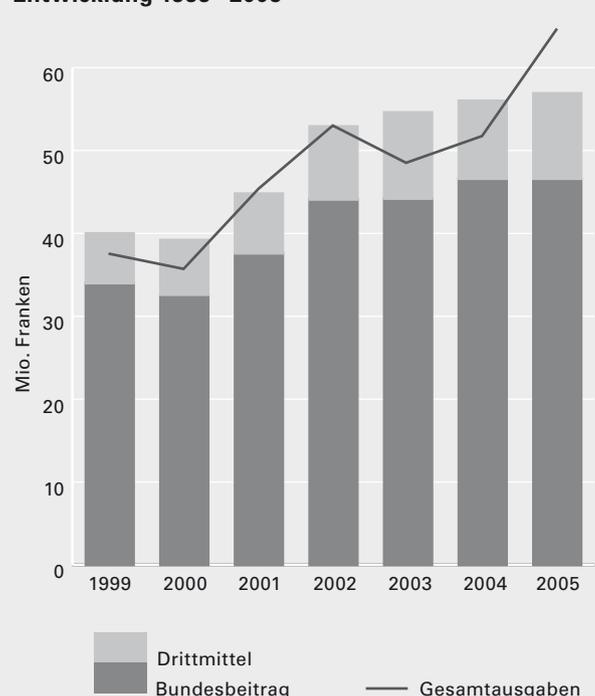
## Ausgabenverteilung 2005



## Drittmittel 2005



## Entwicklung 1999–2005



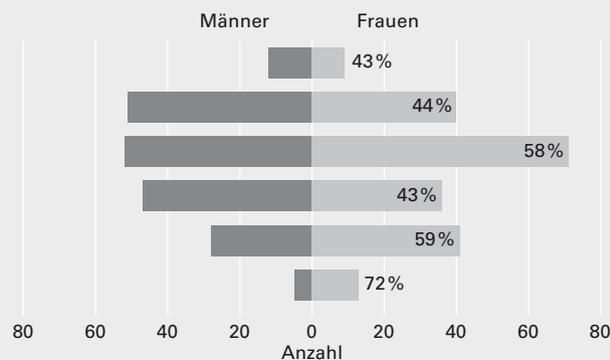
# Personen

Personal	Personen	davon Frauen	davon AusländerInnen	Vollzeit-äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren	4		2	4
TitularprofessorInnen und -professoren	11	1	4	11
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	150	52	62	124,3
Doktorandinnen und Doktoranden	77	38	41	67,3
Technisches Personal	73	33	6	60
Administratives Personal	50	42	4	34
Lernende	22	12	1	22
Praktikantinnen und Praktikanten <sup>1</sup>	9	4	5	8,6
Angeschlossene Mitarbeitende (Krippe, Cafeteria) <sup>2</sup>	13	13	1	11,3
<b>Total</b>	<b>409</b>	<b>195</b>	<b>126</b>	<b>342,5</b>

<sup>1</sup> nur von Eawag entlohnte Praktika; insgesamt 2005: 62.

<sup>2</sup> davon 4 nicht bei Eawag angestellt.

Altersstruktur	Männer	Frauen	Total
15–19	12	9	21
20–29	51	40	91
30–39	52	71	123
40–49	47	36	83
50–59	28	41	69
60–65	5	13	18
<b>Total</b>	<b>51,9%</b>	<b>48,1%</b>	<b>405</b>



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49%	27	9	36
50–79%	51	20	71
80–99%	33	21	54
100%	84	160	244

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	136	145	281
EU-Länder	49	50	99
übriges Ausland	10	15	25

# Aktivitäten

	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
Betreute Dissertationen	122	117	105
Betreute Diplomarbeiten	61	51	97
Publikationen in referierten Zeitschriften	135	142	186
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	58	52	47
Spin-offs	–	2	–
Patente, Lizenzverträge	–	2	–
Dienstleistungsaufträge	7	<sup>2</sup> 41	39
Preise	1	15	8
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	74	81	85
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	1	1	31
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	1	11	10
Peak-Kurse (Weiterbildung)	10	8	9
Fachtagungen	20	28	39
Mitarbeit in Kommissionen	229	162	180

<sup>1</sup> nicht systematisch erhoben

<sup>2</sup> neues Reporting der Abteilungen

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

Dieser Jahresbericht zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus  
Forschung, Lehre und Beratung an der Eawag.  
Alle Publikationen von Eawag-Mitarbeitenden können online  
eingesehen oder via E-Mail bestellt werden.  
<http://library.eawag-empa.ch>  
[library@eawag-empa.ch](mailto:library@eawag-empa.ch)

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

Impressum  
Redaktion: Andri Bryner, Martina Bauchrowitz  
Grafiken: Yvonne Lehnhard  
Gestaltung: TBS Identity, Zürich  
Layout: SLS Peter Nadler, Küsnacht  
Druck: Meier/Huber, Schaffhausen/Frauenfeld  
Copyright: Eawag, Mai 2006.  
Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:  
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2005».  
Belegexemplare an: Eawag, Kommunikation, Postfach 611,  
8600 Dübendorf, Schweiz

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

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



**eawag**  
aquatic research **o o o**

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

