

Jahresbericht 2006





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. Seit 2005 ist Eawag daher der Eigenname für das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs.

Umschlag

Forschen am eigenen Haus: Für die Spülung der NoMix-Toiletten im Neubau Forum Chriesbach wird Dachwasser verwendet, das in einem Wasserbecken im Freien gespeichert wird. Wir prüfen, welche Stoffe mit dem Regenwasser, zum Beispiel aus den Dichtungsbahnen des Flachdachs, ausgewaschen werden.

Bild: Andri Bryner. Artikel: Seiten 9 und 49.

Inhalt

- 2 Wasserwissen schaffen und anwenden: Ueli Bundi
- 4 Spitzenforschung mit herausragenden Leuten: Janet Hering
- 5 Die Kompetenzzentren des ETH-Bereichs

6–25 Siedlungswasserwirtschaft

- 9 Urinseparierung als Chance für die Siedlungswasserwirtschaft
- 14 Auch Eisenbahnverkehr setzt Stoffe frei
- 16 Europas höchst gelegene Kläranlage
- 17 Autobahnabwasser effizient reinigen
- 18 Wie geht der schweizerische Abwassersektor mit radikalen Innovationen um?
- 19 Was kostet die Abwasserentsorgung wirklich?
- 20 Abbau von Medikamenten in der Abwasserreinigung
- 22 Bakterien schlüpfen durch Mikroporen
- 23 Nachhaltige Grauwasserbewirtschaftung
- 24 Quantifizierung der Süswasserressourcen in Westafrika
- 25 Nährstoffkreisläufe schliessen

26–39 Aquatische Ökosysteme

- 29 Unter dem Eis lebt mehr als erwartet
- 31 Europas Seen werden immer wärmer
- 32 Umweltveränderungen können Krankheitsrisiko erhöhen
- 33 Trockene Flüsse sind nicht immer schlimm
- 34 Hochwasser und Kläranlagen steuern Energie- und Sauerstoffhaushalt
- 35 Die Seeforellen laichen wieder im Vorderrhein
- 36 Verstärkte Wassertrübung reduziert Fischartenvielfalt
- 37 Greenhydro wird international
- 38 Kosmische Strahlung ohne Einfluss auf Wolken
- 39 Stickstoffverlust über Anammox-Prozess beträchtlich

40–53 Chemikalien und Effekte

- 43 Arzneimittel: neue Ansätze in der Risikobewertung
- 46 Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser
- 47 Die Suche nach unbekanntem östrogenen Stoffen
- 48 β -Peptide: Neue Pharmazeutika oder zukünftige Schadstoffe?
- 49 Biozide und Additive in Gebäudehüllen: ein Risiko für die Gewässer?
- 50 Glyphosat – Unkrautvertilgungsmittel im Gewässer
- 51 Wie gelangt Antimon in das Grundwasser?
- 52 Fluoridentfernung in Entwicklungsländern
- 53 Sich auf schlechte Zeiten vorbereiten

- 55 Die Eawag durch das Jahr 2006
- 60 European ES&T Office an der Eawag
- 61 Die Eawag ist einem breiten Publikum bekannt
- 61 Nachhaltige Energieversorgung der Eawag
- 62 Das genügsame Haus
- 64 Organisation
- 66 Finanzen
- 67 Personen
- 68 Aktivitäten

Wasserwissen schaffen und anwenden



Der Umgang mit Wasser ist eine der grossen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Wasser ist vielerorts nur sehr beschränkt verfügbar und oft qualitativ massiv beeinträchtigt. An der Eawag erarbeiten wir Wissen zum Wasser und zu den oft unvereinbar scheinenden Nutzungsansprüchen an diese zentrale Ressource. Im eigenen Haus, dem Neubau «Forum Chriesbach», wenden wir dieses Wissen auch gleich selbst an. Ueli Bundi

Wasser ist unabdingbar für die Natur, die Nahrungsmittelproduktion, die Wirtschaft, für Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen. Am Wasser gibt es vielfältige Nutzungsansprüche, und zwischen diesen bestehen oft scharfe Interessenkonflikte. Wie wir mit den Gewässern und dem Wasser umgehen, ist auch in der Schweiz mitentscheidend für eine gedeihliche Entwicklung. Wir sind gefordert, die Wertschöpfung beim Umgang mit den Wasserressourcen für Gesellschaft und Umwelt auf Dauer zu optimieren. Das ist ein komplexes Unterfangen, denn es gilt, unterschiedlichste Interessen und Handlungsbereiche in einer gesamtheitlichen Sichtweise zu erfassen.

Wasser als Thema zu haben – das ist ein Privileg für die Eawag. Wir erarbeiten Wissen über wichtige Zusammenhänge des Wassers und wenden dieses Wissen für das Lösen von Wasserproblemen an. Mit dieser Mission stehen wir im Einklang mit den anderen Forschungsanstalten des ETH-Bereichs. Sie alle erarbeiten wissenschaftlich fundierte, langzeitorientierte Lösungen für den nachhaltigen Umgang mit lebenswichtigen Ressourcen und leisten damit wesentliche Beiträge zu einer zukunftsfähigen Entwicklung.

Sorgfältiges Wirtschaften im eigenen Haus

Die Eawag verfolgt ein striktes betriebliches Umweltprogramm. Als markantes Zeichen dafür steht unser neues Gebäude, das Forum Chriesbach. Es demonstriert, dass wir nicht nur forschen und verkünden, sondern

Nachhaltigkeit auch selber umsetzen. Nachhaltigkeit notabene im umfassenden Sinn des Wortes. Das Gebäude reizt die Grenzen des heute Möglichen aus und erfüllt – zusammen mit der gleichzeitig erstellten Kinderbetreuungsstätte – wichtige ökologische, wirtschaftliche, soziale und kommunikative Anliegen. Gleichzeitig vereint es Funktionalität und architektonische Ästhetik in beeindruckender Weise.

Die Empa hat die Planung des Forums Chriesbach mit ihren Fachkompetenzen massgeblich unterstützt. Gemeinsam haben wir im Forum Chriesbach eine Bibliothek geschaffen. Auch wissenschaftlich und betrieblich arbeiten wir eng zusammen. Dafür und für die guten, freundschaftlichen Beziehungen spreche ich unserer Nachbarinstitution meinen aufrichtigen Dank aus.

Die Eröffnungsfeiern für das Forum Chriesbach von Anfang September, verbunden mit einem Tag der offenen Tür, stiessen bei unseren Partnern in Wissenschaft und Praxis sowie in der Öffentlichkeit auf grosses Interesse. Das neue Gebäude wie auch die Präsentationen zur Tätigkeit der Eawag weckten viele positive Echos. Einmal mehr zeigten sich die zahlreichen Besucherinnen und Besucher beeindruckt vom Engagement und von der Begeisterung, die unsere Mitarbeitenden ausstrahlen (siehe auch Beitrag Seite 62).

Engagement, das ausstrahlt

Diese bemerkenswerte Ausstrahlung ist Ausdruck der an der Eawag herrschenden «Corporate Identity». Ein solcher Geist liesse sich schwerlich aufoktroieren. Wir schätzen uns glücklich, dass er bei uns stark ausgeprägt ist – dank sinnhafter Thematik, breit abgestützter Mission

sowie motivierten und verantwortungsvollen Mitarbeitenden. Ihnen gebührt grosse Anerkennung und Dank für ihre grossen Leistungen in Forschung, Lehre, Beratung und in den unterstützenden Funktionen. Als besondere Highlights von 2006 möchte ich die grossen, erfolgreich abgeschlossenen Projekte «Rhone-Thur» und «Brienzersee» erwähnen.

Wichtige Neuerungen

Per Anfang 2006 riefen wir mit Cirus eine sozialwissenschaftliche Abteilung für Innovationsforschung ins Leben. Die Abteilung für Angewandte aquatische Ökologie (Apec) wurde aufgehoben und aufgeteilt auf die Abteilungen Oberflächengewässer (Surf), Fischökologie + Evolution (Fishec) und Cirus. Die seit 2000 bestehende Apec hat die inter- und transdisziplinäre Gewässerforschung national und international massgeblich weiterentwickelt und damit auch die Eawag geprägt.

Ich danke allen, welche die Eawag 2006 wohlwollend unterstützt und mit wertvollen Ratschlägen begleitet haben. Speziell erwähnen möchte ich den ETH-Rat und seinen Stab sowie die Beratende Kommission der Eawag. Für Letztere freue ich mich, dass sie mit Frau Ständerätin Erika Forster (SG) ein neues, profiliertes Mitglied in ihren Kreis aufnehmen darf. Der Personalvertretung danke ich für ihr engagiertes Mitwirken in wichtigen Geschäften. Unser Personalrestaurant wird seit Anfang 2006 vom Restaurateur DSR betrieben. Wir schätzen uns glücklich über die hervorragenden Leistungen des DSR-Teams, die viel zu unserem Wohlbefinden beitragen.

Am 31. Dezember 2006 endete meine 3-jährige Zeit als Interimsdirektor. Für den Goodwill, den ich in dieser Funktion erleben durfte, bin ich meinen Kolleginnen und Kollegen der Eawag zu grossem Dank verpflichtet. Die Eawag ist dank ihnen gut gerüstet, um ihren Weg für das Wasser weiter erfolgreich beschreiten zu können. Und mit der neuen Direktorin, Janet Hering, werden sich der Eawag neue Horizonte eröffnen. Ich wünsche ihr ein erfolgreiches Wirken mit der Eawag und dabei viel Befriedigung und Freude. ○ ○ ○

U. Brändi

Wir sind gefordert, die Wertschöpfung beim Umgang mit den Wasserressourcen für Gesellschaft und Umwelt auf Dauer zu optimieren. Das ist ein komplexes Unterfangen.



Spitzenforschung mit herausragenden Leuten



Die Wahl zur Eawag-Direktorin ist eine Ehre für mich. Meine ersten fünf Monate waren voll bepackt mit Arbeit und Terminen. Ich habe die Eawag und den ETH-Bereich nun gut kennen gelernt und freue mich, mit dem hervorragenden Eawag-Personal zusammenzuarbeiten und ein innovationsförderndes Umfeld zu bieten. Janet Hering

Beinahe 20 Jahre nach meinen Postdoktoratsarbeiten bei Professor Werner Stumm bin ich nun zur Eawag zurückgekehrt. Dabei sind mir Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede zu damals aufgefallen: Ich habe einige vertraute Gesichter entdeckt, was mir den Einstieg in die neue Funktion erleichtert hat. Die Eawag ist nach wie vor weltweit als führendes Forschungs-, Ausbildungs- und Beratungsinstitut für aquatische Natur- und Ingenieurwissenschaften anerkannt. Gleichzeitig hat die Organisation ihr Betätigungsfeld um neue wissenschaftliche Bereiche erweitert. Beispielsweise befasst sie sich heute auch mit Biodiversität, Evolution sowie sozialwissenschaftlichen Fragen und engagiert sich zunehmend in Entwicklungs- und Schwellenländern.

Die vier Stärken der Eawag

Die Eawag bereitet sich darauf vor, neue Herausforderungen zu bewältigen und neue Chancen zu nutzen. Dabei stützt sie sich auf die folgenden vier Stärken:

- ▶ eine klar definierte Ausrichtung auf Wasser und die aquatische Umwelt,
- ▶ ein herausragendes Team von talentierten ForscherInnen, IngenieurInnen, TechnikerInnen und Mitarbeitenden in der Administration,
- ▶ eine topmoderne Forschungsinfrastruktur und modernste Messgeräte,
- ▶ eine solide finanzielle Unterstützung, die eine innovative und transdisziplinäre Forschung ermöglicht.

Dieses Fundament erlaubt der Eawag eine ganzheitliche Erforschung der aquatischen Umwelt, von relativ

ungestörten aquatischen Ökosystemen bis hin zu voll technisierten Wasser- und Abwassermanagementsystemen. Die Eawag konzentriert sich auf Spitzenforschung: Damit meine ich eine wissenschaftliche Forschung, die zu wesentlichen Fortschritten in den aquatischen Wissenschaften führt, und eine technische Forschung, die sich an den akuten Bedürfnissen der Gesellschaft orientiert. Die Eawag arbeitet aber auch mit Partnern aus der angewandten Forschung zusammen: Dadurch wird sie ihrer Rolle als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis gerecht und trägt dazu bei, neuartige Konzepte in der Gesellschaft einzuführen.

Die kommenden Jahre werden den Forschenden eine Fülle an Möglichkeiten bieten, um in der Schweiz und auf der ganzen Welt wichtigen wissenschaftlichen Fragen nachzugehen und technologische Herausforderungen zu meistern. Zudem haben wir jüngst unser internationales Engagement mit bilateralen Vereinbarungen zwischen der Schweiz und China bzw. Indien, aber auch durch eine gemeinsame Initiative mit der «National Research Foundation of Singapore» erweitert. Die Eawag wird von diesen Chancen sowie ihrer Tradition in der internationalen Zusammenarbeit profitieren können.

Neues Zentrum für Ökotoxikologie

Die Eawag wird im Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, das 2008 aufgebaut wird, eine Schlüsselrolle übernehmen. Das Zentrum wird praxisorientierte Ausbildung, Auftragsforschung und ökotoxikologische Untersuchungen chemischer Substanzen anbieten und wichtige Bedürfnisse von Industrie und Verwaltung abdecken.

Ich bin Ueli Bundi und seinen Vorgängern zu grossem Dank verpflichtet. Sie haben die Eawag durch ihre umsichtige Führung als Vorreiterin im Bereich aquatischer Natur- und Ingenieurwissenschaften positioniert. Ich bin zuversichtlich, dass unsere Institution ihre Position behaupten und durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und technische Lösungen auch in Zukunft wichtige Beiträge leisten wird. ○ ○ ○

Janet Hering

Im Januar 2007 wurde Janet Hering (geboren 1958) zur Direktorin der Eawag und Professorin für Umwelt-Biogeochemie an der ETH Zürich ernannt. An der ETH Zürich gehört sie zum Departement für Umweltwissenschaften und ist assoziiertes Fakultätsmitglied im Departement Bau, Umwelt und Geomatik. Zuletzt war Janet Hering als ordentliche Professorin für Umweltwissenschaft und -technologie am California Institute of Technology (Caltech) tätig. Ihre Forschung konzentriert sich auf biogeochemische Prozesse, welche das Verhalten von Spurenmetallen in der Umwelt bestimmen sowie auf Methoden zur Entfernung solcher Stoffe in der Trinkwasseraufbereitung. Ein Postdoc führte sie von 1988 bis 1991 ein erstes Mal an die Eawag. Sie studierte Chemie an der Cornell University und schloss 1981 mit einem Master an der Harvard University ab. 1988 promovierte sie in Ozeanografie am Massachusetts Institute of Technology. Von der University of California wechselte sie 1995 ans California Institute of Technology, wo sie 2002 zur ordentlichen Professorin gewählt wurde. Von 2003 bis 2006 war sie Leiterin der Keck Laboratories. Janet Hering ist zudem Mitherausgeberin der Fachpublikation «Environmental Science and Technology» (siehe Seite 60).

Eawag engagiert sich in den Kompetenzzentren des ETH-Bereichs

Impulse für Wirtschaft und Gesellschaft

2006 haben fünf Kompetenzzentren des ETH-Bereichs ihre Tätigkeit aufgenommen und mehr als 70 Forschungsprojekte ausgeschrieben und lanciert. Die Eawag bringt ihr Wissen und ihre Kompetenz zur interdisziplinären Zusammenarbeit insbesondere im Bereich Umwelt und Nachhaltigkeit ein. Bernhard Wehrli

In fünf Kompetenzzentren vernetzen die Institutionen des ETH-Bereichs ihre wissenschaftlichen Stärken, um Gesellschaft und Wirtschaft mit nachhaltigen Impulsen zu beleben (siehe Box). Namentlich für das Kompetenzzentrum Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) hat die Eawag bereits bei der Entwicklung massgebliche Beiträge geleistet, und verschiedene Mitarbeitende haben inzwischen bewilligte Projekte initiiert.

In den beiden Themenbereichen «Klima- und Umweltveränderung» sowie «Natürliche Ressourcen» stehen je zwei Projekte im Vordergrund:

► «BioChange» untersucht die genetische Diversität, die Evolution und die Erhaltung der Biodiversität in alpinen Ökosystemen. Diese sind vom Klimawandel schon heute stark betroffen. Unter Leitung von Jukka Jokela forschen sieben Gruppen von Eawag, ETHZ und WSL zusammen. Sie erarbeiten Grundlagenwissen und Managementstrategien zu den sich stark verändernden Lebensräumen.

► «BigLink» analysiert am Dammagletscher im Kanton Uri die Bodenbildung in einem frisch freigelegten Gletschervorfeld. Die Verwitterung und Bodenbildung nach dem Gletscherrückzug hängt von einer schnellen Besiedlung mit Pflanzen, Bakterien und anderen Kleinlebewesen ab.

► «Record» befasst sich mit der Modellierung der hydrologischen und ökologischen Dynamik in einem renaturierten Flussabschnitt an der Thur – unter anderem mit den Wechselwirkungen zwischen Fluss und Grundwasser. Unter der Leitung von Olaf Cirpka arbeiten hier Gruppen von Eawag, ETHZ, EPFL und WSL zusammen. Sie alle können auf den Vorarbeiten des erfolgreichen Eawag-Querprojektes «Rhone-Thur» aufbauen.

► «Adapt», geleitet von Bernhard Wehrli und Alfred Wüest, entwickelt im Einzugsgebiet des Sambesi im südlichen Afrika integrierte Ansätze, um grosse Stauseen und benachbarte Feuchtgebiete besser zu bewirtschaften. Zudem soll in Sambia und Mosambik lokale Forschungskapazität aufgebaut werden. Nebst dem Wissen aus dem «Rhone-Thur»-Projekt werden hier auch Resultate aus dem Querprojekt Ökostrom sowie aus den Analysen im Zusammenhang mit den Stauseen am Grimsel Eingang finden.

Projekte mit Eawag-Beteiligung zum Thema Spurengase, Klimawandel und Wasservorräte sowie Klimapolitik stehen in der Begutachtungsphase. Weiterentwickelt wird

ein Projektantrag für neue Technologien in der Umweltbeobachtung: Das «Swiss Experiment» soll intelligente Sensornetzwerke für die Umweltforschung im Alpenraum und an Fliessgewässern nutzbar machen und weiterentwickeln.

Auch im Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität (CCEM) ist die Eawag an laufenden Projekten beteiligt – so zur Frage der Sedimentbewirtschaftung bei Pumpspeicherkraftwerken oder zum effizienten Einsatz von Biomasse in der Energieproduktion.

Die Initiative des ETH-Rates zur Einrichtung der Kompetenzzentren hat einige Kritik ausgelöst. Die Mittel von etwa 30 Mio. Franken pro Jahr sind den einzelnen Institutionen entzogen worden und müssen nun über aufwändige Projekte «zurückgewonnen» werden. Das bindet Arbeitskraft von Schlüsselpersonen. Trotzdem kann in einer ersten Bilanz gesagt werden, dass die Zusammenarbeit unter den Institutionen des ETH-Bereichs und die interdisziplinäre Forschung gestärkt werden. Mit ihren Erfahrungen aus den Querprojekten trägt die Eawag viel dazu bei. ○ ○ ○

Die Kompetenzzentren des ETH-Bereichs

Die fünf Kompetenzzentren des ETH-Bereichs vernetzen Forschung und Wissen von ETH Zürich, EPF Lausanne, PSI (Paul-Scherrer-Institut), WSL (Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft), Empa (Materialforschung) und Eawag. Im Zentrum stehen Projekte, die wirtschaftlich innovative und gesellschaftlich relevante Resultate erhoffen lassen. 2006 hat der ETH-Rat insgesamt 19 Mio. Franken an seine Kompetenzzentren ausbezahlt und weitere 30 Mio. Franken für das Jahr 2007 reserviert.

Die Eawag engagiert sich vor allem im Kompetenzzentrum Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES). Dieses fördert Forschungsprojekte in den fünf Themenbereichen «Klima und Umweltveränderung», «Naturgefahren und Risiken», «Natürliche Ressourcen», «Ernährung, Umwelt und Gesundheit» sowie «Nachhaltige Landnutzung». Unter der administrativen Leitung der ETH Zürich bündelt das CCES das gesamte Potenzial des ETH-Bereichs in den Umweltwissenschaften. Ziel ist es, Nachhaltigkeitskriterien in technologische Entwicklungen und politische Prozesse zu integrieren sowie Umweltwissen zielgruppengerecht aufzubereiten. Ausserdem unterstützt das CCES den Aufbau von Technologieplattformen, die von mehreren Partnern gemeinsam genutzt und gleichzeitig wissenschaftlich weiterentwickelt werden können. In vier weiteren Kompetenzzentren bearbeiten Forschergruppen aus den ETH-Institutionen die Schwerpunkte Energie und Mobilität (CCEM), Materialwissenschaften und Technologie (CCMX), Systembiologie (SystemsX) sowie bildgebende Verfahren in Medizin und Biologie (NCCBI).

Wasser

Siedlungswasserwirtschaft

Sied

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 darauf, Alternativen in der Abwasserentsorgung aufzuzeigen und gemeinsam mit bestehenden Systemen zu bewerten.

759 zentrale Kläranlagen, 47 000 Kilometer öffentliche Kanalisation – die Infrastruktur zur Abwasserentsorgung in der Schweiz ist gut ausgebaut und trägt viel zu einem guten Zustand der Gewässer bei. Doch in all den Anlagen steckt viel Geld: Siedlungsentwässerung und Wasserversorgung zusammengenommen, beträgt ihr Wiederbeschaffungswert gegen 200 Milliarden Franken. 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? Der verstärkte Einbezug der sozialwissenschaftlichen Innovationsforschung mit der neuen Forschungsabteilung Cirus stellt sicher, dass nicht nur technische und naturwissenschaftliche Probleme im Auge behalten, sondern auch Organisations-

formen, Fragen im Zusammenhang mit dem Übergang von alten auf neue Systeme sowie die ökonomischen Aspekte berücksichtigt werden.

Neue Systeme genau prüfen

Die Eawag forscht nicht nur auf die Schweiz bezogen. Denn das bis anhin kaum hinterfragte Abwasserentsorgungssystem mit Spültoilette, 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. Mit neuen Lösungen kann zudem flexibel auf die dringendsten Probleme reagiert werden. So hat die Eawag im Querprojekt Novaquatis zusammen mit Partnern aus Forschung und Praxis gezeigt, dass die separate Ableitung von Urin eine sehr wirkungsvolle Massnahme gegen die Überdüngung von küstennahen

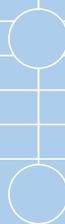
im lungengs-

Meeren sein könnte. Wo Wasser zum Spülen rar ist, erhält die Wiederverwendung von Spül- und Grauwasser immer grössere Bedeutung. In Kleinkläranlagen, unter anderem auf über 3000 m ü. M in Zermatt, oder mit einem Projekt zur Verbesserung des Grauwassermanagements in Entwicklungsländern zeigt die Eawag auf, welche Mechanismen zum Erfolg führen. Fragen zur Akzeptanz eines neuen Verfahrens bei den Betroffenen, zum Dialog zwischen Privatunternehmen und öffentlicher Hand und vor allem zu den Entscheidungsabläufen werden dabei ebenso einbezogen wie die technischen Aspekte.

Trinkwasser: Psychologie spielt mit

Trinkwasser wird immer höheren Qualitätsanforderungen unterworfen. Zum einen werden neue Spurenstoffe in den Wasserressourcen gefunden, zum andern gibt es eine Reihe von Faktoren, die bislang nur schlecht untersucht sind, etwa Geschmacks- und Geruchsstoffe, Viren und Nanopartikel. Im Rahmen des Querprojekts Wave21 (Wasserversorgung im 21. Jahrhundert) untersucht die Eawag diese Parameter entlang von verschiedenen Aufbereitungsstufen (Membranfiltration, Oxidation, Aktivkohlefiltration), um eine Basis zur Sicherung einer wei-

terhin sehr hohen Wasserqualität und für die anstehende Erneuerung von Wasserwerken in der Schweiz zu haben. Auch Medienberichte über eine Bedrohung des wichtigsten Lebensmittels beeinflussen den Trinkwasserkonsum – ein eigenes Projekt im Handlungsfeld Siedlungswasserwirtschaft spürt diesem Mechanismus nach. Dass dabei nicht die Chemie, sondern in erster Linie die Psychologie entscheidet, hat ein Blindtest anlässlich der Eröffnung des Ewag-Neubaus gezeigt: Zwar konnten die Besucher sehr gut zwischen verschiedenem Wasser unterscheiden, doch sie scheiterten, wenn sie die Proben als gekauftes Flaschenwasser oder Leitungswasser identifizieren sollten.





Urinseparierung als Chance für die Siedlungswasserwirtschaft

Obwohl Urin nur 1% des Abwasservolumens ausmacht, enthält er 50 bis 80% aller Nährstoffe. Diese müssen mit viel Aufwand in Kläranlagen eliminiert werden. Bleibt das aus, bedroht Überdüngung die Gewässer. Auch viele Problemstoffe gelangen über den Urin ins Abwasser und in die Umwelt. Das Querprojekt Novaquatis zeigt, dass die separate Sammlung und Behandlung von Urin für den Gewässerschutz und das Recycling von Nährstoffen weltweit entscheidende Beiträge leisten könnte. Judit Lienert, Tove A. Larsen

Die Umweltbehörde der Vereinigten Nationen, UNEP, warnte 2006 in einem Bericht: «Die Fischbestände könnten in Zukunft durch Nährstoffe mehr bedroht werden als durch Überfischung.» Gelangen zu viele Nährstoffe, vor allem Stickstoff und Phosphor, in die Gewässer, führt dies zu übermässigem Algenwachstum. Für den Zersetzungsprozess der kurzlebigen Algen wird viel Sauerstoff benötigt. Dadurch können in küstennahen Meeren sauerstofffreie «tote Zonen» entstehen. Treten solche Zonen grossflächig auf, können auch die Fische nicht fliehen, sondern sie sterben.

Problem wächst rasch

Es wurde lange darüber gestritten, ob Phosphor oder Stickstoff das Algenwachstum im Meer limitieren. Viele Experten plädieren heute dafür, die Emissionen beider Nährstoffe zu begrenzen. Die UNEP empfiehlt eine drastische Reduktion der Stickstoffemissionen, um die Fisch-

bestände zu retten; seit 2004 sind weltweit ein Drittel mehr «tote Zonen» in den Meeren dazugekommen. Wir haben es also mit einem schnell wachsenden Problem zu tun. Rasches Handeln tut Not.

1990 wurden weltweit 21 Mio. Tonnen Stickstoff aus dem menschlichen Stoffwechsel ausgeschieden, aber nur 6 % davon in Kläranlagen eliminiert. Das ist eine beträchtliche Menge, verglichen mit den 48 Mio. Tonnen Stickstoff pro Jahr, die von den Kontinenten in die küstennahen Gewässer fliessen. Seit 1990 ist die Weltbevölkerung bereits um 25 % gewachsen; und es ziehen immer mehr Menschen in die Städte, bevorzugt am Meer. Das Problem wird sich also rasant verschärfen. Der konventionelle Kanalisations- und Kläranlagenbau kann nicht mithalten. Als mögliche Lösung bietet sich die NoMix-Technologie an, weil 80–90% des Stickstoffs aus dem menschlichen Stoffwechsel im Urin enthalten ist. Gelingt es, den Urin

Die separate Behandlung von Urin könnte die durch Überdüngung in Küstengewässern verursachten Probleme lösen.

Oben: Urintanks im neuen Eawag-Hauptgebäude (Ruedi Keller).

Unten: Zu viele Nährstoffe lassen Algen übermässig wachsen; Ostseestrand Schweden (Keystone).



Modernes NoMix-WC. Eine Schüssel, getrennte Wege. Vorne der Ablauf für Urin, hinten für die Fäkalien. Ein Ventil verhindert die Verdünnung des Urins mit Spülwasser (Modell Roediger).

zu sammeln und den Stickstoff zu eliminieren – oder bei Bedarf zurückzugewinnen und in der Landwirtschaft einzusetzen –, könnte man die meisten nährstoffeliminierenden Kläranlagen der Welt an Effizienz überbieten.

NoMix in der Schweiz

Mit der Abtrennung von Urin wird das Abwassersystem als Ganzes flexibler und effizienter, namentlich auch energieeffizienter. Statt auf die Nährstoffe kann bei Kläranlagen das Augenmerk neu auf andere Problemstoffe gerichtet werden. Der Neubau von Kläranlagen wird günstiger, wenn diese nicht mehr mit grossen Becken auf die Elimination von Nährstoffen ausgerichtet werden müssen. Dadurch stehen Mittel für Massnahmen auf Haushaltsebene zur Verfügung, welche in die NoMix-Technologie investiert werden können.

Ob sich der Aufwand für die Einführung der NoMix-Technologie in der Schweiz und in anderen Ländern mit gut ausgebauten Kläranlagen und Kanalisation lohnt, muss sich erst noch zeigen. Bei uns haben Generationen von Gewässerschutzfachleuten – von der Bevölkerung mit den nötigen finanziellen Mitteln ausgerüstet – dafür gesorgt, dass die Probleme angegangen wurden. Aber auch in der Schweiz gibt es ungelöste Probleme. So können zum Beispiel beim Greifensee als Folge der dichten Besiedlung im Umland trotz modernster Anlagen die Reduktionsziele für Phosphor nicht erreicht werden. In Zukunft kommen neue Herausforderungen auf die Sied-

lungswasserwirtschaft zu, die zu grossen Kostensteigerungen führen könnten – immer vorausgesetzt natürlich, dass das bestehende System überhaupt damit umgehen kann. Eine Sorge sind die Mikroverunreinigungen, eine weitere die Klimaerwärmung. In Mitteleuropa werden mit grosser Wahrscheinlichkeit die Sommer trockener. Dadurch nimmt die Verdünnung des Abwassers in den Fließgewässern ab, und toxische Effekte von Ammonium/Ammoniak und Nitrit könnten auch bei uns wieder zu einem Thema werden. Falls die Häufigkeit von kurzen, aber sehr intensiven Regenfällen zunimmt, wie es etwa in Dänemark heute schon registriert wird, werden Regenüberläufe aus der Kanalisation häufiger. Dabei gelangt Abwasser ungereinigt in Seen, aber auch in Bäche und Flüsse, was besonders gravierend ist, wenn diese noch Niederwasser führen. Die NoMix-Technologie kann bei allen drei Problemen – Nährstoffüberfluss, Mikroverunreinigungen und Klimaveränderung – dazu beitragen, Gewässerbelastungen zu vermeiden.

NoMix in China

In Ländern, in denen das Abwasser nicht oder nur zu einem kleinen Teil in Kläranlagen gereinigt wird, ist die NoMix-Technologie schon heute eine nachhaltige Alternative zum Auf- und Ausbau von Kläranlagen. Das gilt ganz besonders für die weltweit stark wachsenden Grossstädte in Küstennähe.

In einem Projekt in Zürichs Partnerstadt Kunming in China hat Novaquatis die Situation geprüft: Heute gelangen jährlich fast 2000 Tonnen Phosphor in den Dianchi-See; 1600 davon aus dem Abwasser. Einst das Trinkwasserreservoir Kunmings, ist er stark verschmutzt und überdüngt. Natürlich verkraften könnte der See nur 60 Tonnen Phosphor pro Jahr. Selbst mit einem immensen Ausbau der Kanalisation und modernen Kläranlagen könnte die nötige Reduktion mit einer Fortsetzung der «End-of-pipe»-Strategie nicht erzielt werden. Massnahmen an der Quelle – wie Urinseparierung und Massnahmen in der Landwirtschaft – sind unumgänglich. Mit Expertinnen und Experten aus Kunming und Umgebung haben wir daher diskutiert, welche Lösungen sie vorziehen. Es zeigte sich eine sehr grosse Offenheit gegenüber der Urinseparierung, und man ist gewillt, sich auf Neues einzulassen. Da Städte wie Kunming rasant wachsen – bis 2020 wird eine Bevölkerungszunahme von 2,4 auf 4,5 Mio. Einwohner erwartet –, liessen sich Massnahmen auch viel rascher umsetzen als bei uns. Dies wiederum könnte für die industrielle Produktion der NoMix-Technologie einen interessanten Markt eröffnen. Nicht zuletzt kann die separate Sammlung von Urin auch Wasser sparen, weil nicht jeder Liter Urin mit mehr als 20 Litern (Trink-)Was-

ser verdünnt werden muss wie bisher üblich. Wasserlose Urinale benötigen gar kein und manche NoMix-WCs sehr wenig Spülwasser fürs kleine Geschäft.

Urin statt Kunstdünger

Ein Schwerpunkt von Novaquatis bestand in der Entwicklung von Verfahren zur Aufbereitung des Urins. Damit können ganz unterschiedliche Ziele erreicht werden. Eines davon ist die Elimination der Nährstoffe: Dazu eignen sich ähnliche – z.B. biologische – Verfahren wie auf der Kläranlage. Ein wichtiger Unterschied zum stark verdünnten Abwasser ist jedoch, dass die Nährstoffe im Urin hoch konzentriert vorliegen. Das ergibt mehr Möglichkeiten in der Verfahrenstechnik, und die benötigten Anlagen werden sehr viel kleiner.

Ein weiteres Ziel kann die Rückgewinnung der Nährstoffe aus dem Urin sein, um sie als Dünger in die Landwirtschaft zurückzubringen. Wenn ein Nährstoffrecycling anvisiert wird, sollten Mikroverunreinigungen, also Medikamente und Hormone, aus dem Urin entfernt werden. Novaquatis hat eine Reihe von Verfahren diesbezüglich getestet. So kann die Fällung mit Magnesium 98 % des Phosphors zurückgewinnen. Das Produkt – «Struvit», $MgNH_4PO_4$ – ist ein attraktives Düngerpulver, frei von Pharmazeutika oder Hormonen. Weitere Möglichkeiten, die Nähr- von möglichen Schadstoffen zu trennen, sind Nanofiltration oder Elektrodialyse. Die Kombination von Elektrodialyse und Ozonierung wird vom Kanton Baselland (Amt für Industrielle Betriebe) eingesetzt, um den Urin aus der Kantonsbibliothek in Liestal aufzubereiten. Der Dünger aus diesem von der Eawag begleiteten Pilotprojekt wurde 2006 vom Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) erfolgreich mit Silomais getestet: Er schnitt ähnlich



Die Pilotanlage der Eawag für die Kantonsbibliothek Basel-Landschaft zur Aufbereitung von Urin zu einem Flüssigdünger.

gut ab wie künstlicher Mineraldünger und deutlich besser als Gülle oder organische Handelsdünger. Nährstoffe aus dem menschlichen Urin könnten in der Schweiz mindestens 37 % des Stickstoff- und 20 % des Phosphorbedarfs ersetzen, die heute durch importierten Kunstdünger gedeckt werden.

Die NoMix-Technologie eröffnet also sowohl im Umgang mit Urin als auch mit dem übrigen Abwasser ganz neue verfahrenstechnische Möglichkeiten. Je nach Ziel können sie flexibel eingesetzt werden. Bei den meisten Verfahren steht allerdings eine Umsetzung in die Praxis noch aus – in grösseren Pilotanlagen und danach als Weiterentwicklung durch Firmen, welche die Technologie zur Marktreife bringen. An der Eawag wird derzeit ein Projekt zur dezentralen Aufbereitung von Kleinstmengen von Urin vorbereitet (siehe auch letzter Abschnitt).

Medikamente: Umweltrisiko halbieren

In Novaquatis wurden ökotoxikologische und chemisch-analytische Messmethoden entwickelt, um die Qualität eines Urindüngerproduktes zu kontrollieren. Mit Hilfe einer neu entwickelten ökotoxikologischen Testreihe kann die Gesamtbelastung einer Probe vor und nach der verfahrenstechnischen Behandlung ermittelt werden. Es zeigte sich, dass die Aufbereitungsverfahren unterschiedliche pharmazeutische Wirkstoffe unterschiedlich gut entfernten. Ein biologisches Verfahren (Abbau von organischen Verbindungen und Nitrifikation durch Bakterien) zum Beispiel war in dieser Hinsicht nicht sehr effizient – die oben erwähnte Struvitfällung dagegen sehr: Die untersuchten Mikroverunreinigungen wurden praktisch vollständig von den Nährstoffen abgetrennt.



M. Koller, FiBL

Mit Urindünger gedüngter Mais wächst gut.



Ausfällungen aus dem Urin (Urinstein) können Leitungen verstopfen.

Unterschiedlich gute Resultate ergaben die Filtrierung durch Membranen und die Ozonierung. Bezogen auf die toxische Wirkung der Mikroverunreinigungen kann die Nanofiltration (Membranporen im Nanometerbereich) 50 bis 90 % der toxischen Wirkung von den Nährstoffen trennen, die Ozonierung zwischen 55 und 99 % entfernen, abhängig von der Ozondosis.

Medikamente und Hormone gelangen in sehr unterschiedlichem Mass über den menschlichen Urin ins Abwasser. Im Mittel von 212 Wirkstoffen (das entspricht 1409 pharmazeutischen Produkten) sind es 60 bis 70 % eines eingenommenen Medikaments, die mit dem Urin ausgeschieden werden. Der Rest gelangt über die Fäkalien ins Abwasser.

In Novaquatis wurde eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, das Risikopotenzial von ausgeschiedenen

Pharmazeutika für die Umwelt abzuschätzen. Für 41 gebräuchliche Medikamente wurde untersucht, welches Risiko sie für die aquatische Umwelt darstellen. Das Resultat: Bei 25 % aller Wirkstoffe wird die gesamte Toxizität und bei weiteren 40 % mindestens die Hälfte über den Urin abgegeben. Urinseparierung kann also nicht nur die Kläranlagen bezüglich Nährstoffe entlasten, sondern das Umweltrisiko durch anthropogene Pharmazeutika und Hormone im Abwasser schätzungsweise halbieren.

Akzeptanz ist hoch

Die NoMix-Technologie wird von der Schweizer Bevölkerung positiv aufgenommen, wie Umfragen in den Pilotprojekten in öffentlichen Gebäuden zeigten. Es wurden insgesamt 1750 Personen befragt, welche die NoMix-WCs am Arbeitsplatz benutzen – an der Eawag und in einer Gewerbeschule – oder die Trenntoiletten in der Kantonsbibliothek BL in Liestal kennen. 70 bis 80 % der Befragten finden Urinseparierung eine gute Idee, und etwa 80 % beurteilen NoMix-WCs als gleich oder besser als konventionelle WCs bezüglich Design, Hygiene und Geruch. Über 80 % würden in eine Wohnung mit einem NoMix-WC ziehen. Viele Benutzerinnen und Benutzer der NoMix-WCs zeigen sich auch bereit, ihr Verhalten anzupassen. Zum Beispiel müssen sich alle, auch Männer, für das «kleine Geschäft» setzen, damit die Urinseparierung funktioniert, was 72 % der Befragten auch wirklich tun. Auch ein Urindünger kommt gut an: Drei Viertel der 501 Befragten in der Kantonsbibliothek BL würden damit produziertes Gemüse kaufen. Von den befragten Landwirten halten 57 % den Urindünger für eine gute Idee.

In öffentlichen Gebäuden und am Arbeitsplatz werden die Sanitäranlagen vom Hausdienst gereinigt und gewartet. Es zeigte sich in allen drei Pilotprojekten, dass dieser Aufwand bei NoMix-WCs und wasserlosen Urinalen grösser ist als bei herkömmlichen Toiletten. So muss bei einigen wasserlosen Urinalen periodisch ein Einsatz ausgewechselt werden. Bei NoMix-WCs müssen Verstopfungen durch «Urinstein» verhindert werden, z.B. indem der Urinablauf regelmässig mit verdünnter Zitronensäure gespült wird. Im Haushalt ist der Einsatz von NoMix-WCs deswegen heikler. Nicht jeder ist bereit, mehr Aufwand für eine Trenntoilette auf sich zu nehmen. Auch weitere Nachteile der NoMix-WCs können im privaten Bad stärker stören. So muss man sich genauer positionieren als bei



Der Algentest zeigt, wie toxisch Arzneimittel auf die Zellen wirken.

konventionellen WCs, was gerade Kindern schwer fällt. In der Schweiz haben wir nur ein kleines Pilotprojekt in vier Haushalten durchgeführt. Erfahrungen aus dem Ausland, z. B. in 88 Wohnungen im österreichischen Linz, bestätigen aber diese Kritikpunkte.

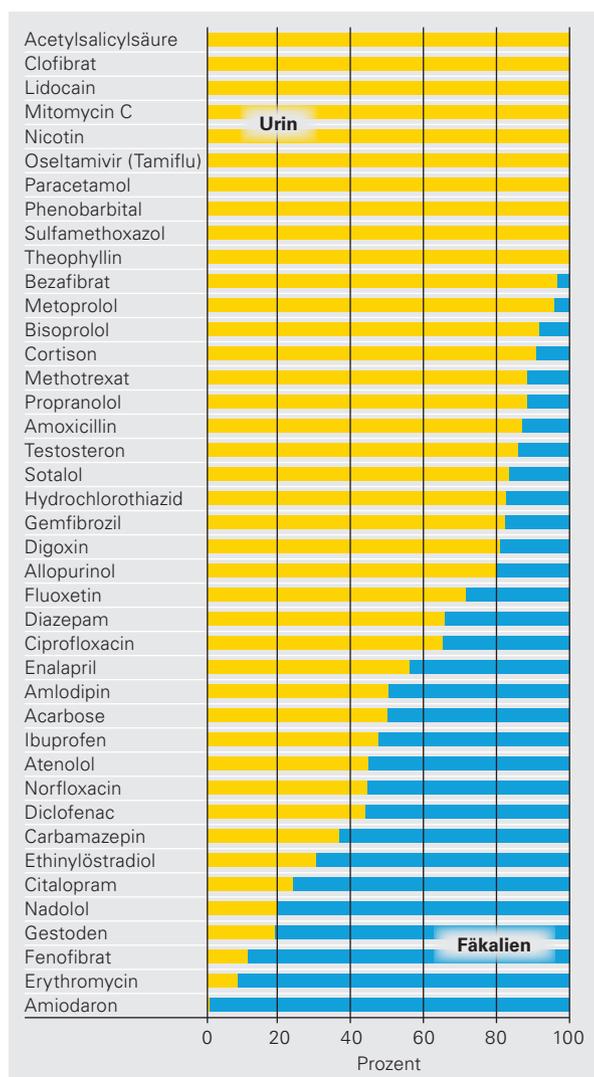
Es braucht also unbedingt eine Weiterentwicklung der NoMix-WCs, bevor sie in grossem Stil eingesetzt werden können. Das ist Aufgabe der Sanitärfirmen. Diese tätigen allerdings nur dann grosse Investitionen, wenn auch ein grosser Markt besteht. Wenn das Potenzial der NoMix-Technologie zur Lösung der Gewässerschutzprobleme

in den schnell wachsenden Städten in Küstengebieten erkannt wird, kann in kurzer Zeit ein globaler Markt entstehen.

Knackpunkte Ausfällungen und Urintransport

Das NoMix-WC funktioniert nach einem einfachen Prinzip: Was im hinteren Teil der Toilette anfällt, wird wie bisher mit Wasser in die Kanalisation gespült. Im vorderen Teil der Schüssel wird Urin aufgefangen und mit wenig oder ohne Spülwasser in einen lokalen Speichertank abgeleitet. Hier beginnen jedoch zwei Schwierigkeiten der NoMix-Technologie: Was hilft gegen die ausfallenden Salze, welche schon nach wenigen tausend Benutzungen enge Leitungen und Siphons verstopfen können? Und wie gelangt der Urin zum Ort, wo er aufbereitet wird? Novaquatis schlägt zu beiden Problemkreisen Lösungen vor. Erfolg versprechend scheinen dabei vor allem dezentrale Massnahmen. Das Verstopfen von Urinleitungen könnte mit der Entwicklung von NoMix-WCs verhindert werden, die in einer austauschbaren Einheit im WC selbst die unvermeidlichen Ausfällungen gezielt fördern – ähnlich wie heute schon in einigen wasserlosen Urinalen. Der Urintransport kann umgangen werden, wenn der Urin möglichst nahe an der Quelle aufbereitet wird – in einer einfach zu bedienenden Einheit im Keller oder sogar direkt beim WC. Für eine Umsetzung dieser Ansätze in die Praxis sind jedoch noch weitere Forschung und Entwicklung nötig, immer in Zusammenarbeit mit Abwasserfachleuten und der Sanitärindustrie.

Für die Forscherinnen und Forscher der Eawag heisst das, dass uns auch in Zukunft die Arbeit nicht ausgehen wird. Novaquatis hat deutlich gezeigt, dass es sich lohnt, die NoMix-Technologie weiterzuentwickeln. Es braucht aber noch sehr viel Arbeit, bis NoMix breit etabliert ist, sowohl in der Forschung als auch bei der Umsetzung in die Praxis. Die Ingenieurinnen und Ingenieure müssen Lösungen entwickeln zur Aufbereitung des Urins in möglichst kleinen, dezentralen Einheiten. Eine solche «Urin-Maschine» muss stabil sein und wenig Wartung erfordern – etwa so wie eine moderne Kaffeemaschine. Neben der technischen Entwicklung braucht es auch eine Zusammenarbeit mit den Sozialwissenschaftlerinnen und den Spezialistinnen und Spezialisten der Entwicklungs- und Schwellenländer. Sie müssen aufzeigen, wie sich NoMix als massentaugliche Technologie möglichst reibungslos in die Praxis einführen lässt. ○ ○ ○



Verteilung der Toxizitäten von 41 pharmazeutischen Wirkstoffen nach der Metabolisierung im menschlichen Körper auf Urin (gelb) und Fäkalien (blau). Die Werte wurden auf 100% skaliert. Absolute Vergleiche zwischen den verschiedenen Wirkstoffen sind nicht möglich. Zum Beispiel liegt die gesamte Toxizität von Acetylsalicylsäure im Urin, bei Diclofenac dagegen werden nur 44% der Toxizität mit dem Urin ausgeschieden. Trotzdem ist es möglich, dass die mit dem Urin ausgeschiedenen Reste von Diclofenac ein grösseres Risiko für aquatische Organismen darstellen als diejenigen von Acetylsalicylsäure. Um das abzuklären, sind weitergehende Modellierungen nötig.

Zum Querprojekt Novaquatis sind sowohl ein Abschlussbericht (d, e) als auch eine Nummer der Eawag News (63d, e, f, chin.) erschienen. Infos und Links zu allen Publikationen aus dem Projekt auf: www.novaquatis.eawag.ch

Auch Eisenbahnverkehr setzt Stoffe frei

Was entlang von Strassen an Luft-, Boden- und Gewässerbelastung auftritt, ist gut untersucht. Nicht so bei der Eisenbahn. Die Eawag hat erstmals eine Bilanz der Stoffemissionen der SBB erstellt: Jährlich werden allein durch Abrieb von Fahrleitungen, Rädern, Schienen und Bremsen rund 2500 Tonnen Metalle freigesetzt. Dazu kommen unter anderem 1300 Tonnen Kohlenwasserstoffe aus Schmiermitteln und den Holzschwellen. Michael Burkhardt, Luca Rossi, Markus Boller

Die Stoffbilanz erlaubt es, Belastungsschwerpunkte zu identifizieren.

Für einen nachhaltigen Gewässer- und Bodenschutz sowie für Massnahmen entlang von Bahnanlagen ist es unerlässlich, die Stoffemissionen und deren Auswirkungen auf die Umwelt zu beurteilen (Abbildung). Im Rahmen des Projektes «Gewässerschutz an Gleisanlagen» wurden daher für das Referenzjahr 2003 erstmals die Emissionen der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) mit einem Gleisnetz von 7200 Kilometern und rund 140 Millionen gefahrenen Zugkilometern bilanziert. Untersuchungen vergleichbaren Umfangs liegen auch international bisher nicht vor [1, 2].

Bremsabrieb als Hauptquelle

Die Emissionen im Bahnbetrieb und Unterhalt sind von unterschiedlichsten Faktoren abhängig, z.B. Güter- oder Personenverkehr, Zugfrequenz, Gefälle, Bremszone. Die meisten Emissionen sind mit Abriebprozessen oder der diffusen Auswaschung verbunden (Tabelle).

► Durch *Bremsvorgänge* werden im Jahr rund 1912 t Bremsabrieb emittiert – mengenmässig die grösste Quelle. Davon entfallen rund 80% auf den Güterverkehr. Die Emission wird durch Eisen (>95%) dominiert, gefolgt von Kupfer und Chrom.

► Am *Fahrleitungsdraht* entstehen ebenfalls Reibungsverluste, die zu einer Emission von insgesamt rund 38 t Kupfer führen. Damit ist Fahrleitungsabrieb die grösste Kupferquelle des Bahnbetriebs und in der gleichen Grössenordnung wie Kupferemissionen des Strassenverkehrs.

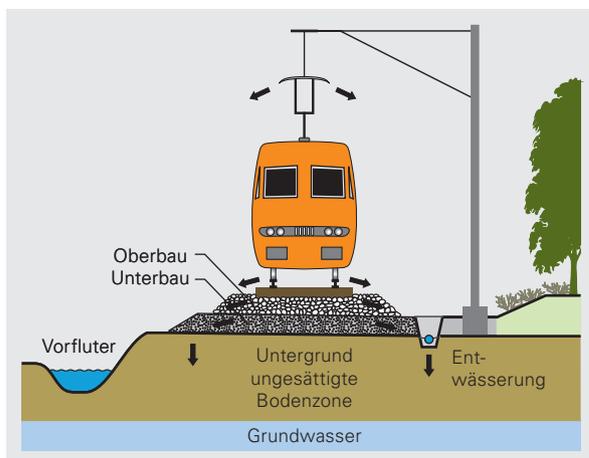
► Von *Rad und Schiene* gelangen weitere Partikelemissionen in die Umwelt. Die Abriebmengen an Rädern werden auf 124 t und an Schienen auf 400–550 t geschätzt. Aus Schienen gelangen vor allem Eisen (>96%), gefolgt von Mangan und Chrom, aus Rädern ausserdem Kupfer, Nickel, Molybdän und Vanadium in die Umwelt. Schienen stellen die grösste Chromquelle der SBB dar.

► Rund 144 000 *feuerverzinkte Fahrleitungsmasten* existieren im Streckennetz der SBB. Die jährlichen Abschwemmverluste werden auf rund 20 t Zink bzw. 140 g an jedem Mast geschätzt.

► Für die *Schmierung* von Motoren, Puffern, Lagern usw. setzen die SBB jährlich rund 197 t Öl und 69 t Schmierfett ein. Von den Schmierölen gelangt vermutlich nur ein Teil in die Umwelt, dagegen emittieren die Kohlenwasserstoffe der Schmierfette vollständig. Diese Verluste erfolgen über das ganze Bahnnetz diffus, bevorzugt aber an Bahnhöfen und auf Rangierbereichen. Auf kurvenreichen Strecken oder solchen mit grossem Gefälle wurden 39 t Öl direkt auf Rad und Schiene appliziert. Von den 14 000 Weichen waren im Jahr 2003 rund 40% vollständig ge-

schmiert. Der Verbrauch belief sich auf rund 68 t oder pro Weiche 11 kg Schmiermittel. Damit sind Weichen Punktquellen mit hohen Kohlenwasserstoffemissionen, wobei das Verlagerungspotenzial durch die regelmässige Weichenreinigung mit Heisswasserdampf noch gefördert wird. Generell gelten Schmiermittel zwar als abbaubar, doch Altschotteruntersuchungen belegen eine starke Anreicherung über die gesamte Gleisprofiliefe.

► Im SBB-Streckennetz sind rund 5,1 Millionen *Holzschwellen* verlegt, die mit Teeröl imprägniert wurden. Teeröl ist eine Mischung aus 80–85% polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), 5–15% monozyklische PAK, 1–12% Phenolen und 5% Heterozyklen. Basierend auf Untersuchungen von Kohler [3], wurde die Freisetzung aus allen Holzschwellen auf jährlich rund 990 t Teeröl geschätzt. Das Teeröl gelangt durch Auswaschung, Schwitzen und Abrieb in das Gleisprofil. Während 25 Jahren Lebensdauer werden pro Schwelle durchschnittlich 5 kg freigesetzt. Obwohl in den letzten Jahren wieder vermehrt Holzschwellen



Emission von Stoffen an Bahnanlagen und deren mögliche Verlagerungspfade in der Umwelt via Gleisabwasser.

SBB fast ohne Dieselruss

Die Stoffbilanz der Eawag zeigt, dass auch die Bahn für Belastungen von Luft, Boden und Wasser mitverantwortlich sein kann. Im Vergleich mit dem Strassenverkehr sind die emittierten Stoffmengen aber deutlich geringer: Der Strassenverkehr setzt laut Bundesamt für Umwelt (Bafu) jährlich rund 4500 Tonnen Feinstaub (PM10) frei, davon 1800 Tonnen Krebs erregender Dieselruss. Dagegen werden vom Schienenverkehr jährlich 800 bis 1200 Tonnen Feinstaub emittiert – dank der verbreiteten Elektrifizierung mit einem nahezu vernachlässigbaren Anteil Dieselruss.

eingebaut wurden, liegt mit Beton-schwellen eine gute Alternative vor. ► Für die *Vegetationskontrolle* an Bahnanlagen wurden von dem Herbizid Glyphosat 3,9 t Wirkstoff verbraucht und auf rund 50% des Gleisnetzes appliziert. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass Glyphosat sich verlagert und der Austrag via Gleisabwasser möglich ist (siehe auch Beitrag Seite 50).

Lokal grosse Unterschiede

Die Emission von umweltrelevanten Stoffen an Bahnanlagen ist mit dynamischen Vorgängen (Brems-, Fahrleitungsabrieb usw.) und fest installierten Objekten verbunden (Masten, Weichen usw.). Wann und wo welche Stoffmengen in die Umwelt gelangen, wird durch weitere Faktoren beeinflusst, zum Beispiel Achslast, Zugverkehrsdichte, Laufleistung und Geschwindigkeit. So liegt die Emissionsmenge in Brems- oder Beschleunigungszonen höher als im Durchschnit, und eine steigende Zugverkehrsdichte lässt einen Anstieg beim Schmiermittelverbrauch und dem Fahrleitungs-, Rad- und Schienenabrieb erwarten. Aufgrund der verschiedenen Randbedingungen entsteht ein heterogenes Emissionsmuster, aus welchem ein spezifisches Be-

lastungsmuster für den gleisnahen Boden, das Gleisabwasser und die angrenzenden Gewässer resultieren dürfte.

Zur Mobilität der meisten emittierten Stoffe besteht aber Klärungsbedarf. Ebenfalls noch zu wenig wissen wir über das Umweltverhalten der partikulären Stoffemissionen – als Adsorbent zur Immobilisierung gelöster Stoffe, als «Träger» für partikelgebundenen Transport oder als toxisch wirkende Fraktion (PM10).

Ist Gleisabwasser belastet?

Obwohl Bahnanlagen mit der Umwelt eng vernetzt sind (Abbildung), liegen kaum Untersuchungen zur stofflichen Belastung von gleisnahem Boden, Gleisabwasser und Gewässern sowie zur Wirksamkeit der aktuellen Massnahmen bei der Gleisentwässerung vor [4]. Wirklich nachgewiesen durch umfangreiche Altschotteruntersuchungen ist bisher für Gleismaterial eine Belastung mit Schwermetallen und Kohlenwasserstoffen, einschliesslich PAK. Laut schweizerischer Gewässerschutzverordnung gilt Gleisabwasser in der Regel als nicht verschmutztes Abwasser, es sei denn, Pflanzenschutzmittel werden eingesetzt. Aufgrund unserer Bilanzierung und



Kohlenwasserstoffe von Holzschwellen, Fette aus geschmirten Weichen, Abrieb von Fahrleitungsdrähten, Bremsen, Rädern und Schienen – der Bahnbetrieb setzt einiges an Stoffen frei, die in die Umwelt gelangen.

den Annahmen in der Wegleitung «Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen» muss aber davon ausgegangen werden, dass Gleisabwasser an zahlreichen Streckenabschnitten belastet sein könnte. Zumindest lokal dürften auch Behandlungsmassnahmen notwendig sein.

Auf der Grundlage unserer Stoffbilanz können nun erstmals lokale Emissions- und Belastungsschwerpunkte identifiziert werden. Einzelne Belastungsschwerpunkte wie Rangierbereiche sollten weitergehend bewertet und vor allem auch experimentell untersucht werden, damit die groben Abschätzungen quantitativ abgesichert werden können. ○○○

Diese Studie wurde durch das Bundesamt für Umwelt (Bafu), das Bundesamt für Verkehr (BAV) und die SBB unterstützt.

[1] Burkhardt M., Rossi L., Boller M. (2005): Stoffemissionen durch Bahnanlagen und Bahnbetrieb. Der Eisenbahningenieur 12, 18–22.
 [2] Burkhardt M., Rossi L., Boller M. (2006): Diffuse Release of Environmental Hazards by Railways. Proceeding of 10th International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, Istanbul.
 [3] Kohler, M. (2000): Gehalte und Emissionen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in und aus teerölbehandelten Holzschwellen des schweizerischen Eisenbahnnetzes, EMPA, Dübendorf, im Auftrag des Buwal.
 [4] Verband des öffentlichen Verkehrs (2005): R RTE 21110 – Unterbau und Schotter. Regelwerk Technik Eisenbahn RTE, Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern.

Stoff	Menge (t/a)	pro Gleis-km (g/a)	Quelle
Eisen	2176	302000	Bremse >>> Schiene > Rad
Kupfer	46,6	6480	Fahrleitung >> Bremse
Zink	19,8	2750	Korrosionsschutz
Mangan	15,5	2170	Grauguss-Bremse > Schiene > Rad
Chrom	6,9	960	Schiene > Grauguss-Bremse
Nickel	0,4	50	Rad
Vanadium	0,06	8,5	Rad
Blei	0,003	0,5	Sinter-Bremse
Antimon	0,003	0,5	Sinter-Bremse
Cadmium	0,002	0,3	Korrosionsschutz
Bindemittel	21	2900	Komposit-Bremse
Kohlenwasserstoffe (73% PAK)*	1357	176800	Holzschwellen >>> Mechanismuschmierung >> Weichenschmierung > Spurkranzschmierung
Glyphosat	3,9	540	Vegetationskontrolle

* Aus Holzschwellen stammen rund 70% der Kohlenwasserstoffe (geschätzte Werte).

Die mengenmässig wichtigsten Emissionen im Normalbetrieb der SBB; Mindestwerte für das Referenzjahr 2003.

Europas höchst gelegene Kläranlage

Selbst in der wasserreichen Schweiz gibt es Orte, wo das Nass rar und die Abwasserentsorgung schwierig ist. In der sensiblen Bergwelt Zermatts haben wir erstmals auf über 3000 m ü. M. mit einer vollbiologischen Abwasserreinigungsanlage für Toilettenabwasser den Nachweis erbracht, dass ein nahezu geschlossener Wasserkreislauf möglich ist. Marc Boehler, Adriano Joss, Simone Buetzer, Martin Holzapfel

In Spitzenzeiten nutzen bis zu 5000 Personen täglich die Seilbahn zum Hohtälli (3286 m ü. M.). Die Bergstation ist einer der zentralen Ausgangspunkte für die Wintersportaktivitäten in Zermatt. Bis 2004 war hier eine Trockentoilettenanlage installiert. Die Komfortansprüche der Gäste, der unangenehme Geruch sowie der hohe Personalaufwand für den Transport der abgesackten Fäkalien ins Tal und für die Reinigung machten diese Lösung zunehmend untragbar. Doch woher sollte das Wasser für eine Spültoilettenanlage kommen? Die Idee lag nahe: Eine Kleinkläranlage mit BioMembranReaktor (MBR) soll das Abwasser so gut reinigen, dass es umgehend wieder als Spülwasser für die WCs genutzt werden könnte.

Unterstützt von der Technologieförderung

In der ersten Saison konnte dieses Ziel nicht erreicht werden. Die Aufkonzentration von Stoffen aus dem Urin und den Fäkalien war zu hoch, die Betriebsführung zu wenig angepasst. In Zusammenarbeit mit den Zermatter Bergbahnen sowie der Zürcher Firma terraLink hat die Eawag daher eine geeignete und optimierte Verfahrenstechnologie für den durch-

gehenden Betrieb der MBR-Anlage entwickelt. Unterstützt wurde das Projekt vom Technologieförderungsprogramm des Bundesamtes für Umwelt. Dank einer engagierten ETH-Praktikantin und Diplomandin konnte die Anlage über die gesamte Wintersaison 2005/06 intensiv betreut werden. Die Fragen zur Aufsatzung und Entfärbung des gereinigten Abwassers, zur Problematik der stark saisonal schwankenden Nährstoffbelastung, der Stickstoffelimination bei geringem Verhältnis von organischen Stoffen zu Stickstoff, zur Schlammentsorgung und zum ganzjährigen Unterhalt derartiger dezentraler MBR-Anlagen konnten alle beantwortet werden.

Hohe Nährstoffelimination

Durch den Einbezug der sonst in Kleinkläranlagen biologisch inaktiven Vorklärunge durch Rückführung von Belebtschlamm und der intermittierenden Belüftungsstrategie im MBR konnte eine überraschend hohe Nährstoffelimination bezüglich Stickstoff (100%) und Phosphor (85%) erreicht werden. Die effiziente Hydrolyse der Feststoffe des Abwassers und das Etablieren einer erhöhten biologischen Phosphorelimination sind die zentralen Prozesse, die hinter der hohen Reinigungsleistung stehen.

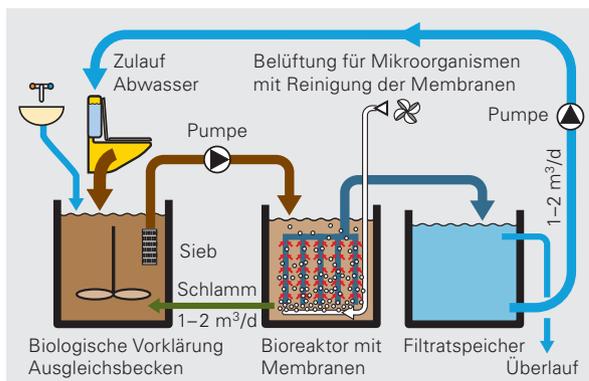
Es zeigt sich, dass bei einer hinreichenden Adaptionszeit der MBR-Biozönose trotz starker Aufsatzung – die Leitfähigkeit im MBR am Ende der Skisaison entspricht etwa der Hälfte derjenigen von reinem Urin – deren hohe Reinigungsleistung erhalten bleiben kann. Dem Problem der starken gelben Färbung des gereinigten Abwassers begegnen wir mit angepassten Dosierungen von Pulveraktivkohle direkt in den MBR.

Die optimierte Verfahrenstechnik ermöglicht nun den dezentralen Ein-



Montage der Anlage in engen Verhältnissen. Anstelle der Klärtanks hingen hier früher Plastiksäcke, in welchen die Fäkalien ins Tal gebracht werden mussten.

satz einer vollbiologischen Kläranlage im kompakten Massstab. Das Projekt belegt, dass eine effiziente und wirtschaftliche Reinigung des sehr spezifischen Abwassers im nahezu geschlossenen Kreislauf möglich ist. Damit kommt dem Vorhaben eine überregionale Bedeutung zu, da allein in den Gebirgsregionen die aufgezeigte Problematik hundertfach auftritt und zudem in ariden Gebieten weltweit einer Wiederverwendung von Abwasser künftig vermehrt grosse Bedeutung zukommen wird. Die Eawag und TerraLink wurden für ihre Arbeit mit dem deutschen «Muelheim Water Award 2006» ausgezeichnet. ○ ○ ○



Statt bis zu 2000 Liter genügen der Anlage maximal 200 Liter Frischwasser pro Tag (via Lavabo).

www.eawag.ch/projekt-zermatt

Buetzer S., Joss A., Siegrist H. (2006): Diploma thesis «Modelling of a decentralized toilet wastewater treatment plant with closed water circulation», Eawag.

Böhler M., Joss A., Buetzer S., Holzapfel M., Mooser H., Siegrist H. (2007): Treatment of Toilet wastewater for Re-use in an MBR, Wat. Sci. Tech., accepted

Autobahnabwasser effizient reinigen

Wie Praxis, Verwaltung und Forschung zusammenarbeiten, zeigt das Beispiel eines neuen Verfahrens zur Behandlung von Strassenabwasser. Das neue Verfahren wird an der Gotthardautobahn bei drei Anlagen eingesetzt und zurzeit einem intensiven Monitoring unterzogen. Die ersten Resultate sind positiv. Michele Steiner*, Markus Boller

Abwasser von Autobahnen ist stark mit Schadstoffen wie Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) belastet. Die heute zur Behandlung eingesetzten bewachsenen Boden-Retentionsfilter eignen sich nicht immer, weil sie relativ viel Platz benötigen. Deshalb müssen Barriersysteme entwickelt und getestet werden, die hydraulisch wesentlich höher belastet werden können und die Schadstoffe trotzdem effizient zurückhalten.

Neues Verfahren

Das Ingenieurbüro André Rotzetter und Partner in Baar hat ein neues Verfahren zur Behandlung des Strassenabwassers an der Gotthardautobahn A2 vorgeschlagen. Es besteht neben einem Lamellenabscheider für die Grobpartikelabtrennung aus zwei Retentionsfilterbecken, gefüllt mit je einer Schicht aus Sand auf einer Schicht Adsorbentmaterial. Die Sandschicht hält die Feinpartikel zurück, die Adsorbentenschicht entfernt die gelösten Schwermetalle, damit das Wasser möglichst frei von Schadstoffen in die Stille Reuss fließen kann. Für einen hohen Rückhalt, bei gleichzeitig möglichst geringen Kosten, kommt dem Adsorbentmaterial eine spezielle Bedeutung zu.

Acht Materialien im Test

Die Eawag befasst sich seit Jahren mit dem Rückhalt von Schwermetallen aus Dach- und Strassenabwasser und dabei insbesondere mit der Adsorption von Schwermetallen. Neben den wissenschaftlichen Grundlagen wurde auch eine Methode zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Adsorbentien entwickelt. Sie ermöglicht es, Adsorbentien für unterschiedliche Anwendungszwecke auch ohne kostspielige Langzeitstudien zu testen.

Die notwendigen Versuche mit acht möglichen Adsorbentmaterialien für die Retentionsfilterbecken wurden an der Eawag durchgeführt, finanziert vom Tiefbauamt des Kantons Uri. Untersucht wurden die Adsorptionskapazität, die Aufnahmegeschwindigkeit sowie die Rücklösung von Schwermetallen beim Einsatz von Tausalzen.

Tausalz kann Schadstoffe zurücklösen

Das teuerste Material, das granuliertes Eisenhydroxid (GEH), ist das leistungsfähigste, gefolgt von den beiden Eisenhydroxiden Ferrosorp und Everzit, die wesentlich günstiger sind. Als relativ leistungsfähig und vor allem preisgünstig erwies sich Zeolit C, allerdings mit dem Nach-

teil, dass bei Tausalzeinsatz im Winter eine Rücklösung der sorbierten Schwermetalle stattfindet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eines der beiden Retentionsbecken mit Ferrosorp und das andere mit Zeolit C ausgestattet – mit der Einschränkung, dass das Zeolit-Becken im Winter nicht betrieben wird. Wir gehen davon aus, dass die Adsorbentenschicht im Regelbetrieb nach acht bis zehn Jahren ersetzt werden muss. Dabei können die Eisenhydroxide als Rohstoff weiterverwendet und die Zeolite regeneriert werden.

Intensive Überwachung

Zur Überwachung dieser neuartigen Anlage im Alltagsbetrieb wird derzeit ein intensives Monitoring durchgeführt. Die ersten Messungen weisen eine sehr gute Reinigungsleistung nach. Es geht nun darum, das System optimal einzustellen. Weil diese Aufgabe kein eigentliches Forschungsprojekt mehr ist, wird sie von einer privaten Firma (wst21) durchgeführt, einem Spin-off der Eawag, der sich mit der Behandlung von Strassenabwasser sowie Strategien zum Umgang mit Oberflächenabflüssen befasst. ○ ○ ○

Die Materialwahl wirkt sich nicht nur auf die Kosten und die Leistung, sondern auch auf die Betriebsart der Anlage aus.



Eines der beiden Retentionsfilterbecken an der Autobahn A2 bei trockenem Wetter.

* Michele Steiner hat an der Eawag geforscht und ist heute Geschäftsführer von wst21.

Hermann E., Schwengeler R., Steiner M., Boller M.: Behandlung von hochbelastetem Strassenabwasser. GWA 12/2005.

Steiner M., Langbein S., Boller M. (2006): Development and full scale implementation of a new treatment scheme for road runoff. Proceedings of 8th International Symposium on the Highway and Urban Environment. 6-2006, Nicosia, Cyprus.

Wie geht der schweizerische Abwassersektor mit radikalen Innovationen um?

Die Anforderungen an die Abwasserwirtschaft sind hoch, und bei Investitionen geht es um viel Geld. Die Unsicherheiten, unter denen solche Investitionen getätigt werden, nehmen laufend zu. Wie steht es vor diesem Hintergrund um die Innovationsfähigkeit des schweizerischen Abwassersektors? Am Beispiel der Membrantechnologie konnte gezeigt werden, wo angesetzt werden müsste, um Chancen besser zu nutzen. Cornelius Wegelin, Bernhard Truffer

Die Auseinandersetzung mit technischen und organisatorischen Innovationen wird für die Abwasserwirtschaft zu einer immer grösseren Herausforderung. Die Lebensdauer der getätigten Investitionen ist seit jeher hoch, und Entwicklungen im gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umfeld führen zu wachsenden Unsicherheiten bei Investitionsentscheidungen. Eine Diplomarbeit der Universität Bern, welche von der Eawag geleitet wurde, hat die Inno-

vationsfähigkeit des schweizerischen Abwassersektors vor diesem Hintergrund analysiert.

Schwierige Einschätzung von Neuerungen

In einem ersten Schritt haben wir bewertet, welche Anforderungen zurzeit diskutierte Innovationen an den Abwassersektor stellen. Dazu wurden 28 Innovationen bezüglich ihrer Komplexitäts- und Radikalitätsmerkmale klassiert (siehe Abbildung). Einige Neuerungen sind unkompliziert und lassen sich mühelos in bestehende Strukturen eingliedern. Andere sind komplex, mit grossen Unsicherheiten verbunden und erfordern eine Anpassung verschiedener Elemente des Abwassersystems. Solche Neuerungen werden nur dann eingesetzt, wenn sich ihre Vorteile als sehr gross darstellen lassen. Die Bewertung und Umsetzung von komplexen und radikalen Innovationen stellt damit sehr hohe Anforderungen.

Im zweiten Schritt wurden Barrieren identifiziert, die sich aktuell der Umsetzung radikaler Innovationen im Abwassersektor entgegenstellen. Und schliesslich versuchten wir zu erfassen, welche Kapazitäten im Sektor vorhanden sind, um sich mit radikalen Innovationen auseinanderzusetzen zu können. Als Beispiel wurde der Einsatz der Membrantechnologie in der kommunalen Abwasserreinigung untersucht.

arbeitet und mögliche Entwicklungspfade skizziert. Eine Befragung von 14 Experten aus Industrie, Abwasserorganisationen, Behörden, Planung und Forschung hat ergeben, dass im «Innovationsystem Membrantechnologie» bedeutende funktionale Defizite vorhanden sind. Sie behindern die weitere Diffusion der Technologie:

- ▶ Informationsdefizite zwischen den Akteuren,
- ▶ lückenhaftes Know-how,
- ▶ fehlende unterstützende Institutionen und ungeeignete regulatorische Rahmenbedingungen,
- ▶ unklare Kompetenzzuordnung und Aufgabenteilung zwischen den Akteuren,
- ▶ ungünstige Kostenstrukturen: geringe Stückzahl in der Produktion führt zu hohen Kosten der einzelnen Anlagen.

Eine Übertragung des Beispiels Membrantechnologie auf den Abwassersektor im Allgemeinen zeigt: Um die Innovationsdynamik zu verbessern, bedarf es einer strategischen Gesamtsicht über die aktuellen Herausforderungen im Sektor, kombiniert mit einem professionellen Innovationsmanagement auf der Ebene der einzelnen Abwasserorganisationen. Nur so kann der Sektor die zusätzlichen Freiheitsgrade im Umgang mit den steigenden Unsicherheiten in Umfeld, Technologie und Organisationsform nutzen. ○○○



Klassifizierung von Innovationen im Abwassersektor hinsichtlich ihrer Komplexität und des Grades an Veränderungsbedarf im Sektor, um sie erfolgreich durchzusetzen (Radikalität).

Bestehende funktionale Defizite

Mit Hilfe der an der Eawag entwickelten Methode der Innovations-systemanalyse wurden der aktuelle Entwicklungsstand des Membranverfahrens in der Schweiz aufge-

Wegelin C. (2006): Innovationsdynamik im Schweizerischen Abwassersektor – Eine Untersuchung des Innovationsfeldes Membrantechnologie in der kommunalen Abwasserbehandlung. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.

Was kostet die Abwasserentsorgung wirklich?

Der Infrastruktursektor gilt in der Schweiz als ein zentrales Element des «Service Public». Für die Gemeinden gehört die Abwasserentsorgung zu den anlagenintensivsten Dienstleistungen mit viel langfristig gebundenem Kapital. Nun hat die Eawag zusammen mit dem Bundesamt für Umwelt erstmals schweizweit Wert, Kosten und Zustand der Abwasserinfrastruktur dokumentiert. Anja Herlyn, Bernhard Truffer, Max Maurer

► **Kläranlagen:** Das Abwasser der Schweiz wird in 759 zentralen Kläranlagen (grösser als 500 Einwohnerwerte) gereinigt. Ihr Wiederbeschaffungswert¹ beträgt 10,1 Milliarden Franken. Die Abwasserreinigung in diesen Anlagen kostet jährlich 819 Mio. Franken – 54% für den Betrieb, 37% für Abschreibung und 9% für die Zinsen.

► **Kanalisation:** Die Ableitung von Schmutz- und Regenwasser erfolgt mit 47 400 Kilometern öffentlicher Kanalisation. Hochgerechnet haben diese Anlagen einen Wiederbeschaffungswert von 55,2 Milliarden oder rund 7600 Fr. pro Einwohner. Interessanterweise ist dieser Betrag fast unabhängig von der Siedlungsdichte, denn der grösseren Netzlänge auf dem Land stehen in den Städten aufwändigere Bauwerke entgegen. Die jährlichen Betriebs- und Kapitalkosten betragen 875 Mio. Franken – 1/3 davon für den Betrieb und fast 2/3 für die Abschreibung. Die effektiv anfallenden Zinsen sind vernachlässigbar, weil die meisten Kanäle mit zinsfreien Gemeindemitteln gebaut wurden. Zwei Drittel der Kanalisation wurden in den letzten 50 Jahren erstellt, wobei städtische Gemeinden deutlich ältere Bauten besitzen als ländliche.

Zweimal um die Welt mit Röhren und Kanälen

Neben den 759 Kläranlagen und den 47 400 km öffentlichen Kanalisationen sorgen noch mehr als 3400 Kleinkläranlagen und 1,7 Millionen Hausanschlüsse mit etwa 42 000 km zumeist privater Liegenschaftsentwässerung für eine gute Siedlungs- und Gewässerhygiene. Alle Leitungen aneinandergereiht, würden also gut zweimal um den Globus reichen. Den gesamten Wiederbeschaffungswert der schweizerischen Abwas-

serentsorgung, inklusive aller privaten Installationen, schätzen wir auf knapp 100 Milliarden Franken. Das ist rund dreimal mehr als der Wert des Telekommunikationsnetzes oder 1/3 des Gesamtwerts von Strasse und Schiene. Die daraus berechneten gesamtwirtschaftlichen Kosten betragen bei einem angenommenen Zins von 3% rund 4,3 Milliarden Franken pro Jahr. Trotz dieses immensen Betrags sind die schweizerischen Abwassergebühren tief. Vielerorts profitieren Kunden von den eingesetzten Steuermitteln, Anschlussgebühren, Subventionen und nicht zuletzt von einer hohen Lebensdauer der robusten Bauten. Die zu Alter und Zustand der Anlagen zusammengetragenen Daten lassen aber einen stark steigenden Sanierungsbedarf und damit steigende Kosten erwarten. Rund 23% der untersuchten Kanäle weisen starke Beschädigungen auf.

Unterhalt und neue Konzepte

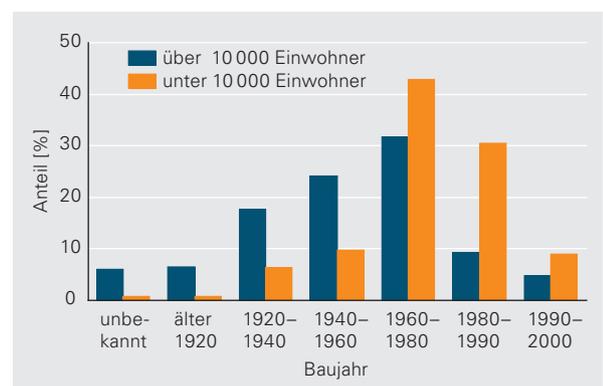
Die schweizerische Abwasserentsorgung wandelt sich von der Bau- in eine Optimierungsphase. Jetzt gilt es, die vorhandene Infrastruktur professionell zu unterhalten, Kosten zu senken sowie neue, bessere Techniken und Konzepte zu erarbeiten. Diese anspruchsvollen Aufgaben erfordern gute Fachkräfte, ein professionelles Management und verantwortungsbewusste Verwaltungen. Natürlich dienen dem technischen Gewässerschutz nicht zuletzt auch Innovationen aus der Forschung, wie sie die Eawag immer wieder hervorbringt. ○ ○ ○

¹ Der Wiederbeschaffungswert entspricht dem Betrag, der für einen Neubau der bestehenden Anlagen investiert werden müsste.

Kläranlagen	
Anzahl Anlagen (> 500 EW)	759
Angeschlossene Einwohner	7,3 Mio.
Dimensionierung	16,7 Mio. EW
mittlere Auslastung	10,4 Mio. EW
Betriebskosten/Jahr	440 Mio. CHF
Kapitalkosten/Jahr	379 Mio. CHF
(davon Abschreibung)	306 Mio. CHF)
(davon Zinskosten)	73 Mio. CHF)
Kosten Kläranlagen/Jahr	819 Mio. CHF = 112 CHF/E
Kanalisation	
Länge des gemeindeeigenen Netzes	43 500 km
Kanalisation Zweckverbände	3 600 km
weitere Hauptsammelkanäle	300 km
Total öffentliche Kanalisation	47 400 km = 6,5 m/E
Betriebskosten/Jahr	287 Mio. CHF
Kapitalkosten	588 Mio. CHF
(davon Abschreibung)	569 Mio. CHF)
(davon Zinskosten)	19 Mio. CHF)
Kosten öffentliche Kanalisation	875 Mio. CHF = 120 CHF/E

Eckdaten zu den Kläranlagen und der öffentlichen Kanalisation in der Schweiz. Betriebs- und Kapitalkosten wurden in einer Umfrage bei den Kantonen erhoben und hochgerechnet. Der Wiederbeschaffungswert beträgt bei den Kläranlagen 10,1 Mrd. CHF (= 1380 CHF/E), bei der Kanalisation 55,2 Mrd. CHF (= 7600 CHF/E).

E = Einwohner; EW = Einwohnerwerte (inkl. Industrie).



Durchschnittliches Alter der Kanalisation in der Schweiz für 376 kleinere und 21 grössere Gemeinden. Vor allem in den kleinen Gemeinden wurde mehr als 80% der Kanalisation zwischen 1960 und 1990 erstellt. Die Untersuchung erfasst 7067 km Gemeindekanalisation, 44% davon in Städten.

Herlyn A., Maurer M. (2007): Status quo der Schweizer Abwasserentsorgung – Ein nationaler Überblick über die Kosten, den Zustand und den Investitionsbedarf. Gas, Wasser, Abwasser (GWA), 2007(3), S. 171–176.

Abbau von Medikamenten in der Abwasserreinigung

Pharmazeutika gelangen nach der Ausscheidung ins Abwasser und, wenn die Elimination in den Kläranlagen unvollständig ist, auch in Oberflächengewässer. Für vier weit verbreitete blutdrucksenkende Mittel wurden Toxizität, Abbauprozesse und -raten in Versuchen bestimmt und mit der Realität überprüft.

Alfredo C. Alder, Max Maurer, Beate Escher, Philipp Richle, Manuela Richter, Christian Schaffner

Biologische und chemische Analytik müssen sich gegenseitig ergänzen.

Im Rahmen der Entwicklung eines Membranbioreaktors (MBR) für die kommunale Abwasserreinigung wurde mit ökotoxikologischer und chemischer Analytik auch das Verhalten von noch nicht untersuchten Mikro-

verunreinigungen studiert. Wir konzentrierten uns dabei auf die in der Schweiz am häufigsten konsumierten β -Blocker Atenolol, Metoprolol, Sotalol und Propranolol.

Diese Medikamente werden für die Behandlung von Bluthochdruck und die Nachbehandlung von Herzinfarkt-Patienten eingesetzt.

Elimination mit Schlamm kaum bedeutend

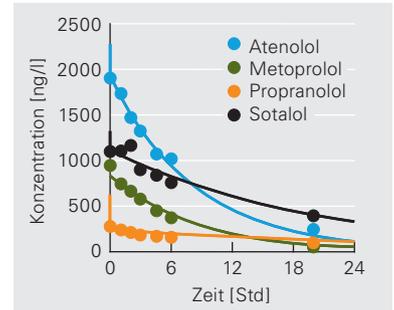
Die wichtigsten Eliminationsprozesse während der Abwasserreinigung sind die Anlagerung (Sorption) am Schlamm und biologische Transformationen. Die Stoffe können also mit dem Überschussschlamm aus dem Abwasserstrom entfernt oder biologisch abgebaut werden. In Versuchsreaktoren bestimmten wir die Sorptionskoeffizienten K_d und die biologischen Abbauraten der vier ausgewählten β -Blocker.

K_d beschreibt das Verhältnis der Substanz sorbiert am Belebtschlamm (ng/g Belebtschlamm) zum im Abwasser gelösten Anteil (ng/l). Ein kleiner Wert weist darauf hin, dass der Stoff kaum an den Schlamm angelagert wird und demnach die Differenz zwischen Zu- und Ablaufkonzentration einer Kläranlage dem biologischen Abbau zugeordnet werden kann. Für Atenolol, Sotalol und Metoprolol ist die Sorption am Schlamm unbedeutend ($K_d < 0,04$ l/g). Für Propranolol ist sie

höher, aber mit einem Sorptionskoeffizienten (K_d) von 0,29 l/g beträgt die Elimination via Überschussschlamm weniger als 5%, ist also mengenmässig nicht signifikant.

Halbwertszeit zwischen 8 und 19 Stunden

Die biologischen Abbauraten für die β -Blocker betragen 0,63 für Atenolol, 0,53 für Metoprolol, 0,36 für Propranolol und 0,26 für Sotalol ($l\ d^{-1}\ g^{-1}$). Die Resultate weisen darauf hin, dass in MBR-Anlagen aufgrund der höheren Schlammkonzentration die beiden Stoffe Metoprolol und Atenolol zu rund der Hälfte abgebaut werden können, Sotalol und Propranolol werden aber zu weniger als einem Viertel abgebaut. In Kläranlagen mit typischen Schlammkonzentrationen von 2,7 g/l ergibt das



Resultate eines Abbauxperiments. Punkte: gemessene Werte. Ausgezogene Linien: Simulation.

eine Halbwertszeit von 8–19 Stunden (Abbildung).

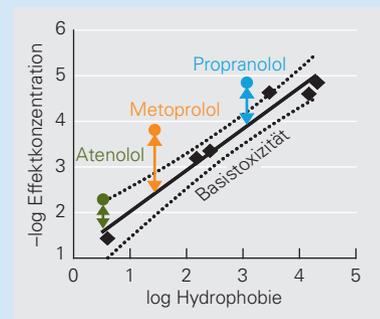
Die in Tagesmischproben gemessenen Konzentrationen in Zu- und Ablauf von Kläranlagen schwankten je nach β -Blocker: Zulaufkonzentrationen zwischen 1900–2500 ng/l für



In dieser Versuchsanordnung laufen unter kontrollierten Verhältnissen dieselben Prozesse ab wie in den grossen Becken einer Kläranlage. Die Reaktoren erlauben eine Bestimmung der Abbauraten von Medikamenten in der Abwasserreinigung.

Photosynthese wird gestört

Ob die β -Blocker in der Kläranlage abgebaut werden, ist die eine Frage. Die andere ist, welche Effekte sie in natürlichen Gewässern haben können: In unserer wirkmechanismenbasierten Testreihe zeigten die Medikamente zwar eine je nach ihrer Hydrophobie unterschiedliche, aber minimale Toxizität. Eine Ausnahme bilden Algen, auf die sie offensichtlich spezifisch toxisch wirken, eine Schädigung also nicht erst bei sehr hohen Konzentrationen eintritt. Vor allem für die Störung der Photosynthese waren alle untersuchten β -Blocker rund zehnmal toxischer, als für Basistoxizität vorhergesagt wurde (Abbildung). Der Algentest wurde daher ausgewählt, um das Schicksal dieser Stoffgruppe in den Kläranlagen zu untersuchen. Anders als bei östrogenartig wirkenden Substanzen, die sich im Abwasser mit Biotests quantifizieren lassen, war dies aber für die β -Blocker nicht möglich, da der Algentest auch auf viele andere Stoffe im Abwasser reagiert und die gesuchten Wirkmechanismen wenig spezifisch sind. Auch der Versuch, mit einer selektiven Anreicherung von β -Blockern zu klareren Resultaten zu kommen, ist nicht gelungen. Biotests eignen sich daher als Überwachungsinstrument für ökotoxikologische Summenparameter, aber kaum für das Aufspüren spezieller Substanzen oder Substanzgruppen. Biologische und chemische Analytik können sich also nicht ersetzen, sondern müssen sich gegenseitig ergänzen.



Für basistoxische Stoffe nimmt die Toxizität (ausgedrückt als negativer Logarithmus der Effektkonzentration) mit zunehmender Hydrophobie der Stoffe zu. Die β -Blocker sind alle etwa zehnmal toxischer, als es das Modell für Basistoxizität vorhergesagt würde. Das lässt darauf schließen, dass sie für den Endpunkt der Störung der Photosynthese einen spezifischen Wirkmechanismus ausüben.

Atenolol und zwischen 50–340 ng/l für die anderen β -Blocker; die entsprechenden Konzentrationen im Ablauf betragen 400–700 ng/l für Atenolol und 30–250 ng/l für die restlichen β -Blocker.

	ARA Kloten-Opfikon		ARA Dübendorf	
	[%]	gemessen	berechnet	gemessen
Sotalol	26 ± 7	27 ± 14	27 ± 2	41 ± 11
Atenolol	79 ± 17	53 ± 9	73 ± 9	71 ± 6
Metoprolol	31 ± 11	47 ± 10	29 ± 5	64 ± 7
Propranolol	28 ± 2	39 ± 15	35 ± 3	54 ± 12

Labor und Realität stimmen gut überein

Die in den Kläranlagen gemessenen Eliminationen stimmen recht gut mit den in Versuchen abgeschätzten überein. Lediglich diejenige von Metoprolol wird in der Berechnung

Über 3 Tage gemessene sowie berechnete Elimination von β -Blocker-Medikamenten in Prozent (mit Standardabweichung). Nach Maurer et al. Wat. Res. 2007, 41.

signifikant zu hoch eingeschätzt (Tabelle). Die in Versuchen bestimmten Abbauraten mit Schlamm aus

einer MBR-Anlage können also gut auf andere Verhältnisse übertragen werden. Unter Berücksichtigung der Verbrauchsdaten für die jeweiligen Medikamente, des Abwasseranfalls sowie der ermittelten Sorptionskoeffizienten und biologischen Abbauraten können die Konzentrationen im Zu- und Ablauf einer ARA gut vorhergesagt werden. ○○○



Ein Ultrafiltrationsmodul im Labormassstab an der Eawag und die gleichen Membranen (Porengrösse rund 40 nm) vor dem Praxiseinsatz in der Kläranlage des bayerischen Monheim. Das gereinigte Abwasser wird durch die Hohlfasern abgesaugt, feste Stoffe bleiben zurück.

Escher B.I., Bramaz N., Richter M., Liernert J. (2006): Comparative ecotoxicological hazard assessment of beta-blockers and their human metabolites using a mode-of-action based test battery and a QSAR approach, Environ. Sci. Technol. 40, 7402–7408.
 Maurer M., Escher B., Riehle P., Schaffner C., Alder A.C. (2007): Elimination of β -blockers in sewage treatment plants; Wat. Res. 41, 1614–1622.

Bakterien schlüpfen durch Mikroporen

Die Filtration von Süsswasser durch Membranen mit mikroskopisch feinen Poren galt bisher als sichere Methode, um Bakterien zu entfernen. Jetzt weisen neue Tests nach, dass mehr Keime die Filter lebend passieren und dass eine Auslese von Stämmen erfolgt, die aufgrund ihrer Form gut durch die Filter schlüpfen können.

Yingying Wang, Frederik Hammes, Nico Boon¹, Thomas Egli

Können Keime nach Filtrierung weiterwachsen, steigt der Anteil, der eine nächste Membran passieren kann.

Die Filtration durch Membranen mit Porengrössen von 0,1 bis 0,45 µm wird weltweit eingesetzt zur Sterilisation von Lösungen, aber auch um mikrobielle Zellen zu entfernen, wenn Trinkwasser in Flaschen abgefüllt wird. Die bisherigen Erkenntnisse zu Bakterien, die solche Membranfilter passieren können, basieren überwiegend auf der aerob mesophilen Keimzahl (AMK, Ausplattieren auf Nährmedien). Doch diese Methode weist Mängel auf im Nachweis natürlicher Bakterien. Das kann zu einer Fehleinschätzung der hygienischen Qualität von Trinkwasser und anderen gefilterten, wässrigen Lösungen führen. Mit Hilfe der Durchflusszytometrie (flow cytometry, FCM) können Zellen unabhängig von ihrer Plattierbarkeit schnell und präzise gezählt werden. Wir haben FCM in Kombination mit Fluoreszenzfärbung und einem natürlichen Aufwuchstest verwendet, um filterbare Bakterien zu quantifizieren, zu kultivieren und anzureichern.

Filterbare Bakterien häufig im natürlichen Süsswasser

Die Filtration von zehn ganz unterschiedlichen Wasserproben hat gezeigt, dass ein hoher Prozentsatz (49 bis 87 %) der natürlichen aquatischen

mikrobiellen Gemeinschaft Filter mit einer Porengrösse von 0,45 µm passieren kann. Immer noch bis zu 3% vermögen auch Poren von 0,22 µm zu passieren. Selbst bei 0,1 µm Porengrösse sind es noch bis zu 0,2%. Bei Anfangskonzentrationen von 2 bis 3 Millionen Zellen pro Milliliter bedeutet dies, dass bis zu 30000 Zellen pro ml in 0,22-µm-Filtrat und bis zu 2000 Zellen pro ml in 0,1-µm-Filtrat verbleiben. Und die gefilterten Bakterien sind nicht etwa Leichen, wie früher vermutet. Sie konnten anschliessend auf natürlichem assimilierbarem, organischem Kohlenstoff (AOC) mit einer Verdopplungszeit von einer Stunde wachsen.

Schlanke Bakterien bevorzugt

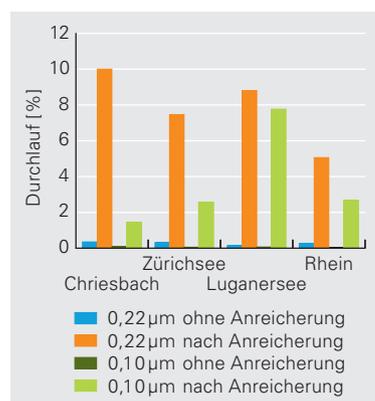
Können Zellen nach der Filtration wieder aufwachsen, steigt der Prozentsatz der filterbaren Bakterien beim nächsten Durchlauf durch eine Membran stark an. Bereits nach einem Filtration-Wiederaufwuchszyklus sind die Raten beim 0,22-µm-Porenfilter von 1% auf 10% ge-

klettert und beim 0,1-µm-Porenfilter von 0,06% auf 4%. In allen Fällen enthielten die vorherrschenden Populationen schlanke, spirillumförmige Bakterienzellen, darunter viele *Hylemonella-gracilis*-Stämme, welche Membranfilter offensichtlich bevorzugt passieren. Neben *Hylemonella* dürfte dies auch für andere Bakterien ähnlicher Morphologie zutreffen, z.B. für die krankheitsregenden *Leptospira* und *Treponema*.

AOC besser als Labor-Nährmedien

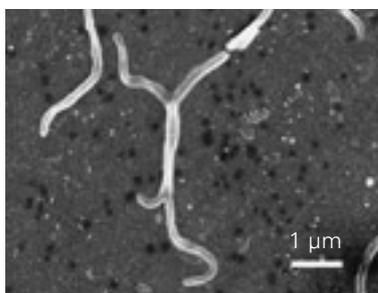
In Filtertests wird als Standardbakterium *Brevundimonas diminuta* eingesetzt. Es hat die Form eines kurzen Stäbchens und ist in der Regel zuvor in einem Labormedium mit hoher Nährstoffkonzentration aufgewachsen. So bilden sich verhältnismässig dicke und grosse Zellen. Solche Bedingungen herrschen jedoch in natürlicher Umgebung selten vor. Die biologisch abbaubaren Kohlenstoffkonzentrationen liegen dort typischerweise im Bereich von nur 50 bis 400 µg pro Liter (gegenüber 1 Mio. µg/l in Nährmedien). Spirillumförmige Bakterienzellen, die auf natürlichem AOC aufwachsen, sind daher als «Testkandidaten» für Filtereffizienz besser geeignet.

Unsere Ergebnisse schliessen die Möglichkeit undichter Filter als Erklärung für den Nachweis von Bakterien in Proben aus. Eine Revision der Filtertest- und Bewertungsmethoden und allgemein des Verfahrens der Sterilfiltration von Flüssigkeiten ist angezeigt. ○ ○ ○



Der Anteil filterbarer Bakterien steigt in der Anreicherungskultur mit aufeinanderfolgenden Filtrations-Wiederverkeimungszyklen stark an. Vergleich von vier Süsswasserproben, Membranfilter mit 0,22 µm und 0,1 µm Porenweite.

Hylemonella-gracilis-Bakterien auf einem Membranfilter; Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme.



¹ Ghent University, Faculty of Bioscience Engineering, Laboratory of Microbial Ecology and Technology (LabMET), Coupure Links 653, B-9000 Gent, Belgium

Nachhaltige Grauwasserbewirtschaftung

Reinigung und Wiederverwendung von Grauwasser fristen nach wie vor ein Schattendasein. Vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo sauberes Wasser ein rares Gut darstellt, könnte ein verbessertes Grauwassermanagement nicht nur private Haushaltsbudgets entlasten, sondern auch schädigende Einflüsse auf Umwelt und Gesundheit reduzieren. Stefan Diener, Antoine Morel

Jeder Haushalt produziert Grauwasser – Abwasser aus Küche, Bad und Waschküche mit Ausnahme des Toilettenabwassers. Während in Industrieländern Grau- und Toilettenabwasser durch die Kanalisation abgeführt und zentral gereinigt wird, ist die Situation in Entwicklungs- und Schwellenländern anders: In Städten wird Grauwasser ohne Behandlung in offene Abzugsgräben oder in Gewässer geleitet. In stadtnahen und ländlichen Gebieten wird dieses Abwasser ungereinigt für die Bewässerung genutzt. Das belastet die Umwelt und erhöht das Gesundheitsrisiko. Denn obschon Grauwasser weniger verschmutzt ist als Toiletten- oder Industrieabwasser, kann es hohe Konzentrationen an Krankheitserregern oder problematische Stoffe wie Fette und Reinigungsmittel enthalten.

Menge und Zusammensetzung des Grauwassers werden vom Klima und der vorhandenen Infrastruktur beeinflusst, aber auch stark vom Lebensstandard, den kulturellen Gewohnheiten oder der Alters-

struktur im jeweiligen Haushalt. Ein Grauwassersystem muss all diese Faktoren berücksichtigen, um sowohl den technischen als auch den Ansprüchen der Benutzer gerecht zu werden.

Ganzes System im Auge behalten

Die Eawag-Studie hatte zum Ziel, internationale Erfahrungen auf dem Gebiet der dezentralen Grauwasserbewirtschaftung zu dokumentieren und die Hauptkomponenten einer erfolgreichen Bewirtschaftung von Grauwasser auf Haushalts- und Quartierebene zu beschreiben. Die Vor- und Nachteile einzelner technischer Massnahmen wurden aufgezeigt, im Zentrum stand aber eine Optimierung des Gesamtsystems. Resultat sind Empfehlungen für Massnahmen an der Quelle (im Haushalt), für eine sinnvolle Verkettung einzelner Komponenten sowie für die sichere und effiziente Wiederverwendung oder Entsorgung des behandelten Grauwassers.

Möglichkeiten abwägen

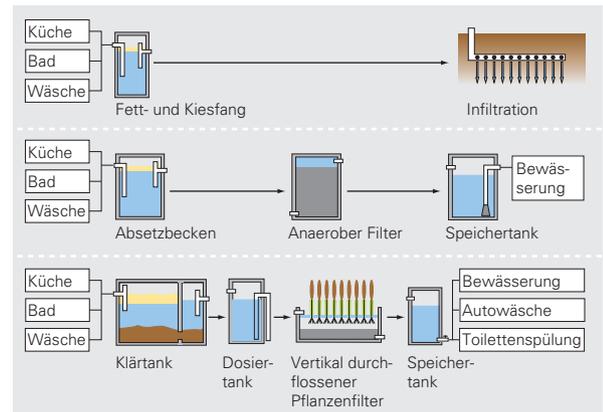
Die dokumentierten Anlagen unterscheiden sich bezüglich Komplexität, Reinigungsleistung und Kosten. Einfache Einrichtungen wie Versickerungsgruben oder Gartenbewässerung werden auf Haushaltsebene angewendet. Auf Quartierebene kommen eher komplexere Anordnungen (z. B. Serie von horizontal und vertikal durchflossenen, bepflanzt Filtern) zum Einsatz. Mit steigender Komplexität steigt allerdings auch der Wartungsaufwand. Die u. a. in Mali, Jordanien und Nepal durchgeführten Fallstudien zeigen, dass der Ausfall eines ganzen Grauwassersystems meistens auf vernachlässigte Wartung zurückzuführen ist. Es empfiehlt sich daher, die Komplexität einer An-

Benutzer müssen System verstehen

Damit ein Grauwassersystem funktioniert, ist es entscheidend, dass die Nutzer die Betriebsweise verstehen und einen minimalen Unterhalt leisten. So wurde in Mali Duschwasser eines Haushalts via Fettabscheider und Kiesfilter in ein Gemüsebeet geleitet. Nachdem die erste Barriere für Feststoffe, das Abflusssieb, zu rusten begonnen hatte, wurde dieses kurzerhand entfernt, was die Belastung auf die folgenden Einheiten stark erhöhte und zur Verstopfung des Kiesfilters führte. Die Anwender entfernten darauf auch diesen Filter, um wenigstens das Gemüsebeet zu bewässern. Das nun unbehandelte Grauwasser verstopfte innert kurzem das Beet – ein Totalausfall des gesamten Grauwassersystems.



Eine Strasse in Djenné, Mali, vor und nach der Einrichtung von einfachen Versickerungssystemen für Grauwasser.



Grauwassersysteme unterschiedlicher Komplexität. Oben: Djenné, Mali; Mitte: Ein Al Beida, Jordan; unten: Kathmandu, Nepal.

lage – angepasst an die erforderliche Reinigungsleistung – so gering wie möglich zu halten. ○ ○ ○

Morel A., Diener S. (2006): Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Dübendorf. Download als pdf-Dokument ab www.sandec.ch/greywater

Quantifizierung der Süßwasserressourcen in Westafrika

Wie viel Wasser steht einem Land zur Verfügung? Eine neue Modellierung erlaubt präzisere Antworten auf diese Frage als die bisher vorliegenden Abschätzungen. Sie liefert räumlich und zeitlich höher aufgelöste Werte und berücksichtigt Unsicherheiten, was Risikoabschätzungen zulässt. Die Resultate können für ein Wassermanagement eingesetzt werden. Das Modell kann aber auch Folgen verschiedener Szenarien darstellen, zum Beispiel eines Klimawandels. Jürgen Schuol, Karim C. Abbaspour, Hong Yang

Informationen über die räumliche und zeitliche Variation der Süßwasserverfügbarkeit auf Länder- und Regionalebene sind für die strategische Wasserplanung und das Wassermanagement, insbesondere hinsichtlich der Wasser- und Nahrungsmittelsicherheit, von entscheidender Bedeutung.

Bodenwasser einbezogen

Die von einigen grossen internationalen Organisationen wie FAO und Unesco veröffentlichten Abschätzungen der Süßwasserressourcen auf Länderebene beinhalten lediglich grobe Abschätzungen des jährlich durchschnittlich verfügbaren, so genannten «blauen Wassers» (Abfluss

plus Grundwasserneubildung). Hinzu kommt, dass auf dieser Skala eine Abschätzung des «grünen Wassers» (Bodenwasser bzw. Evapotranspiration) gar nicht durchgeführt wurde. Dieses stellt jedoch die eigentliche Quelle zur Aufrechterhaltung des Ökosystems sowie für den Ackerbau ohne Bewässerung dar.

An der Eawag verwenden wir das semi-physikalisch basierte, räumlich und zeitlich differenzierte hydrologische Modell SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Mit Hilfe dieses Programms haben wir die Süßwasserressourcen für ein 4 Mio. km² grosses Gebiet in Westafrika, an dem 18 Länder Anteil haben, quantifiziert (Abb. 1). Die Kalibrierung des Modells sowie die Abschätzung der Vorhersageunsicherheiten, die aus den Unsicherheiten in den Eingangsdaten, der Modellstruktur und in den Modellparametern resultiert, erfolgt mit SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting Algorithm).

Die wichtigsten Vorteile unserer Modellierung sind:

- Alle Komponenten des hydrologischen Kreislaufs wurden basierend auf täglichen Wetterdaten, die aus den monatlich verfügbaren Rasterdaten generiert wurden, berechnet.

- Alle Komponenten der Süßwasserressourcen (blaues und grünes Wasser) können in einer monatlichen Auflösung quantifiziert werden.

- Die Berechnungen basieren auf individuellen, räumlich differenzierten Einheiten der Boden-Landnutzungs-Überlagerung und berücksichtigen auch grosse Feuchtgebiete und Stauseen. Damit ist es möglich, die Süßwasserressourcen eines Landes auch auf Teileinzugsgebiets- bzw. Regionalebene zu bestimmen.

- Das Modell beinhaltet eine eingehende Kalibrierung und Validierung sowie eine Prognose der Unsicherheiten. Es bietet dadurch eine seriöse Hilfe bei Entscheidungsproblemen.

- Das Modell kann leicht ausgebaut werden, sobald zusätzliche Eingangsdaten verfügbar sind.

Ausweitung auf ganzen Kontinent

Die von uns für elf Länder zusammengetragenen SWAT-Ergebnisse der «blauen» Komponente der intern erneuerbaren Süßwasserressourcen wurden mit zwei existierenden Studien (Aquistat von der FAO und WaterGap von der Universität Kassel) verglichen (Abb. 2). In den meisten Fällen liegen die Abschätzungen dieser zwei Studien zwar innerhalb dem Vorhersageunsicherheitsintervall unseres Modells, erlauben aber weder zeitlich noch räumlich detailliertere Aussagen.

Unsere Studie ist Teil eines grösseren Projektes mit dem Ziel, die globalen Süßwasserressourcen zu bestimmen. Basierend auf den Erfahrungen aus dieser erfolgreichen Modellierung werden wir im nächsten Schritt ein Modell für ganz Afrika erstellen. ○ ○ ○

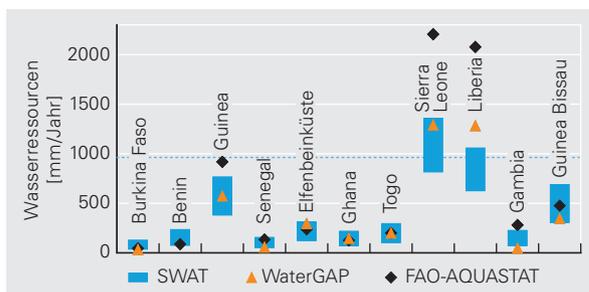
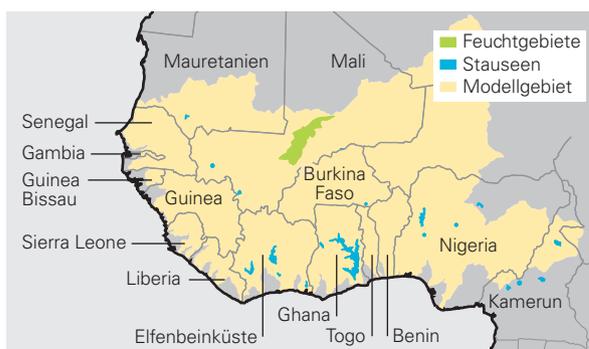


Abb. 1 (oben): Das Modellgebiet in Westafrika.

Abb. 2 (unten): Vergleich der SWAT-Vorhersagen (mit Unsicherheitsintervallen) der intern erneuerbaren Süßwasserressourcen (blaues Wasser) mit den Abschätzungen aus Aquastat und WaterGap; die gestrichelte Linie zeigt zum Vergleich den Mittelwert für die Schweiz, 968 mm/Jahr.

Schuol J., Abbaspour K.C. (2006): Using monthly weather statistics to generate daily data in a SWAT model application to West Africa. Ecological Modelling, in press.

Schuol J., Abbaspour K.C., Yang H., Srinivasan R. (2006): Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. Journal of Hydrology, submitted.

Nährstoffkreisläufe schliessen

Die rasch wachsenden Städte von Entwicklungs- und Schwellenländern brauchen dringend neue Konzepte für ihre Siedlungswasser- und Abfallwirtschaft. Neben der Verbesserung der Gesundheitssituation müssen Ressourcen geschont und die Umwelt geschützt werden. Die Eawag hat mit Partnern in Vietnam ein Modell entwickelt, das die Auswirkungen neuer Ansätze auf Wasser- und Nährstoffverbrauch, Nährstoffeintrag in die Umwelt und Nährstoffwiederverwertung vorhersagen kann.

Agnès Montangero, Le Ngoc Cau, Nguyen Viet Anh, Vu Dinh Tuan, Pham Thuy Nga, Hasan Belevi, Roland Schertenleib

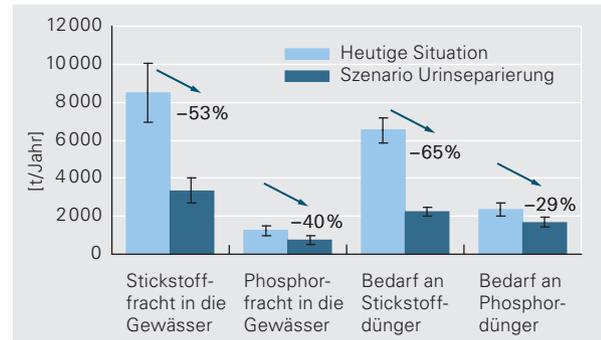
In den letzten Jahrzehnten erlebte Hanoi, die Hauptstadt von Vietnam, ein rasantes Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum und eine rasche Industrialisierung. Ebenso rasant nahmen Umweltverschmutzung und Ressourcenverbrauch zu. Immer mehr Abwasser wird in die Gewässer eingeleitet. Flüsse und Seen weisen hohe Konzentrationen an organischem Material, Nährstoffen und Krankheitserregern sowie sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen. Der Kunstdüngerkonsum in der stadtnahen Landwirtschaft ist in die Höhe geschneit. Auch wird zu viel Grundwasser gepumpt. An verschiedenen Orten in der Stadt senkt sich der Boden ab.

Modell unterstützt lokale Akteure

Wie können die natürlichen Ressourcen für künftige Generationen erhalten bleiben? Gemeinsam mit

Partnerorganisationen in Vietnam haben wir ein mathematisches Modell entwickelt, das auch bei dürftiger Datenlage vorhersagt, wie sich Massnahmen auf die Wasser- und Nährstoffflüsse auswirken. Dieses Modell ist generell auf urbane Regionen von Entwicklungsländern anwendbar und arbeitet mit Daten aus den Bereichen Wasserversorgung, Abwasser- und Abfallmanagement sowie Landwirtschaft. Wo Daten fehlen, zeigen wir auf, wie mit Expertenbefragungen Lücken geschlossen werden können [1]. Wahrscheinlichkeitsverteilungen geben Aufschluss über vorhandene Unsicherheiten [2, 3].

Das Modell unterstützt lokale Akteure bei der Entwicklung geeigneter Strategien und Massnahmen. Es hilft unter anderem, diejenigen Fäkalien- bzw. Abwasserbehandlungssysteme auszuwählen, welche möglichst viel zum Schliessen der Nährstoffkreisläufe beitragen. So wird das Toilettenabwasser in Hanoi meist in Klärgruben behandelt. Von dort gelangt es in die offenen Drainagekanäle am Strassenrand und schliesslich ins nächste Fließgewässer. Aber nur ein kleiner Teil der Nährstoffe wird als Schlamm in der Klärgrube zurückgehalten (5–14% der Stickstoff- und 11–27% der Phosphorfracht) [1]. Um den Nährstoffeintrag in die Gewässer zu verringern, sind die Gruben also wenig effizient. Wir fanden, dass die im Norden Vietnams einst weit verbreiteten Zweikammerlatrinen mit Urinseparierung gegenüber den Klärgruben wesentliche Vorteile haben. Ausser wenig Stickstoff, der während der Lagerung des Urins als Ammoniakgas entweicht, hält dieses Latrinensystem die ausgeschiedenen Nährstoffe zurück. Sie könnten einen Teil des Kunstdüngers ersetzen, und die Stickstoff- und Phosphorflüsse in

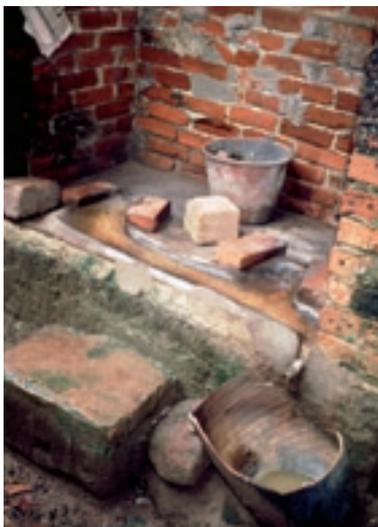


Urinseparierung könnte den Nährstoffeintrag in die Gewässer sowie den Kunstdüngerbedarf in der Provinz Hanoi stark reduzieren.

die Gewässer würden markant reduziert (siehe Abbildung).

Teil einer ganzheitlichen Planung

Unser Modell muss nun in einen ganzheitlichen Planungsansatz integriert und weiter getestet werden. Denn wenn sich eine Stadt für eine bestimmte Strategie des Abwassermanagements entscheiden will, müssen auch andere Aspekte mit berücksichtigt werden, zum Beispiel die Auswirkungen auf die Gesundheitssituation, die Akzeptanz für neue Sanitäreinrichtungen, die Bereitschaft, Mehrkosten zu tragen, oder die Frage, ob für «Produkte» wie Urin und hygienisierte Fäkalien längerfristig überhaupt ein Markt besteht. ○○○



Urinseparierung in Vietnam: Eine Zweikammerlatrine mit zwei Löchern im Latrinboden zu den beiden Kammern sowie einer Rinne für die Urinableitung, rechts der Urinbehälter.

- [1] Montangero A., Belevi B. (2007): Assessing nutrient flows in septic tanks by eliciting expert judgement: A promising method in the context of developing countries. *Water Research* 41, 1052–1064.
- [2] Montangero A., Belevi B.: An approach to optimise nutrient management in environmental sanitation systems with limited data availability. Submitted to *Journal of Environmental Management*.
- [3] Montangero A., Cau L.N., Viet Anh N., Tuan V.D., Nga P.T., Belevi H. (2007): Optimising water and phosphorus management in the environmental sanitation system of Hanoi, Vietnam. *Science of The Total Environment* (accepted).

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 die biologische Vielfalt, nicht zuletzt im Zusammenhang mit einer Klimaänderung. 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. Aquatische Ökosysteme können wertvolle «Dienstleistungen» erbringen, darunter eine langfristige Sicherung von Wasserressourcen und Wassernutzungen sowie ein integraler Hochwasserschutz. In der EU verlangt 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 der Klimaveränderung. Mehrere Eawag-Projekte aus diesem Handlungsfeld sind direkt in den Lehr- und Forschungseinheiten der neuen Kompetenzzentren Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) sowie Energie und Mobilität (CCEM) im ETH-Bereich verankert worden (siehe Seite 5). Wie erfolgreich von der Wasserforschung zur Verfügung gestellte Grundlagen in der Praxis aufgenommen werden, zeigt das Beispiel des Greenhydro-Standards. Dieses Instrument wurde im Rahmen eines Querprojekts 2001 an der Eawag entwickelt und wird nun international sukzessive zur Messlatte für Ökostrom aus Wasserkraft (Seite 37). Als Beispiel eines Greenhydro-Elements seien funktionierende Umgehungsgerinne oder moderne Fischtreppen erwähnt. Sie können die Zäsur von Wasserkraftwerken in Flüssen mindern, wie die Studien zur Laichwanderung von Seeforellen im Alpen- und Vorderrhein nachweisen (Seite 35).

als nsraum

source

Einen Forschungsschwerpunkt legt die Eawag auf die Auseinandersetzung mit Auswirkungen grosser Stauhaltungen, namentlich in Schwellen- und Entwicklungsländern. 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? Ausserdem stehen, beispielsweise im Sambesi Einzugsgebiet, Fragen nach der Verteilung der knappen Wasserressourcen im Raum – etwa zwischen den Ansprüchen für Bewässerung, Hydroelektrizität oder Naturreserve.

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 Artenverlust erklären, quantifizieren und modellieren las-

sen, können Lösungen gefunden werden für ein nachhaltiges Management der Biodiversität – und zwar im Spannungsfeld zwischen globalen Umweltveränderungen und regionalen soziökonomischen Bedingungen.

Leben und Sterben von Arten

Wie Eingriffe des Menschen die Biodiversität innert kurzer Zeit beeinflussen können, zeigt exemplarisch der Beitrag zu den Buntbarschen des Viktoriasees (Seite 36). Die Einführung einer sich rasch ausbreitenden fremden Art und die als Folge der Entwaldung zunehmende Trübung des Wassers haben hier in den letzten 25 Jahren rund 200 Buntbarscharten zum Verschwinden gebracht. Die Abteilungen Gewässerökologie (vormals Limnologie) sowie Fischökologie + Evolution haben ihre Forschung im Bereich der Populationsgenetik weiter verstärkt. Denn genauso wie veränderte Umweltbedingungen zum Aussterben von eigenständigen Arten führen können, sind im Lauf der Evolution neue Arten durch spezielle Anpassungen an die lokalen Verhältnisse entstanden.



Unter dem Eis Lebt mehr als erwartet

Bisher ist man davon ausgegangen, dass das Ökosystem See erst im Frühling, nach dem Einsetzen höherer Temperaturen, nach Schneeschmelze und Eisaufbruch, wieder voll funktioniert. Wir konnten nachweisen, dass das Leben unter dem Eis nicht zum Erliegen kommt und die Bedingungen nicht für alle Arten so lebensfeindlich sind, wie angenommen. Michael Sturm, David M. Livingstone

Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt, eisige Winde, eine dicke Eisschicht mit meterhohem Schnee. Das sind die unwirtlichen Winterbedingungen vieler hochalpiner Gebirgsseen, welche auch heute noch viele Monate im Jahr regelmässig mit Eis bedeckt sind. Doch es gibt Organismen, welchen die anscheinend lebensfeindlichen Umstände wenig anhaben können oder welche diese Bedingungen sogar lieben.

Leben auch im Eis selbst

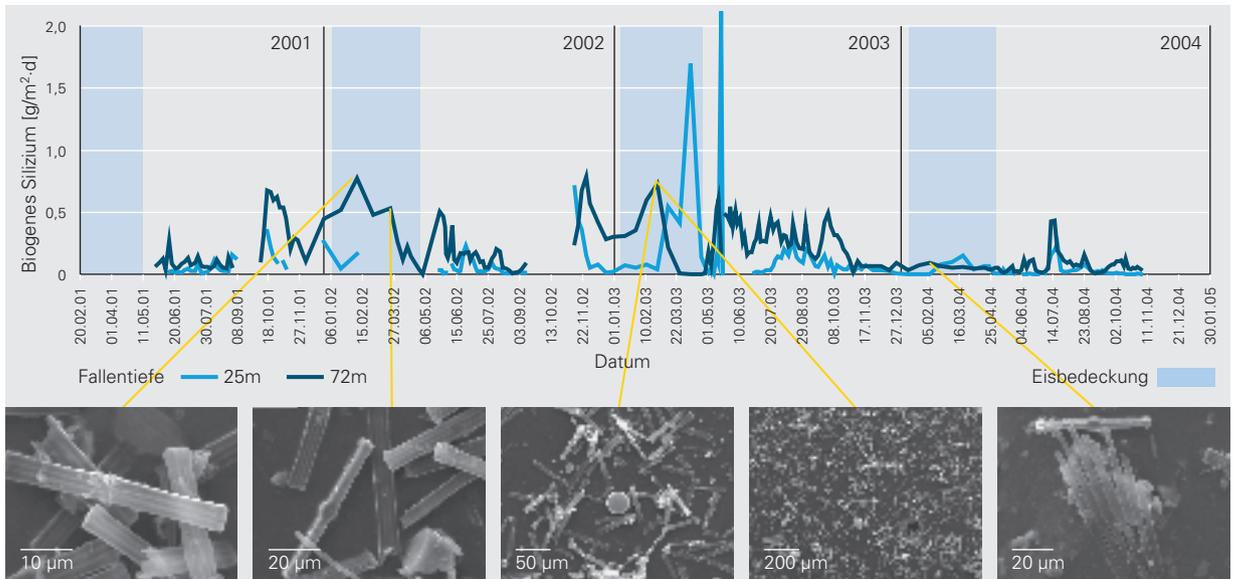
Im Zuge der Forschung über eine globale Erwärmung haben in den letzten Jahren auch andere Forschergruppen begonnen, sich mit kryophilen bzw. psychrophilen (Kälte liebenden) Organismengruppen zu beschäftigen, also mit Lebewesen, für welche kalte Umweltbedingungen eine Grundvoraussetzung für das Überleben darstellen. So wurde am Baikalsee von russchen Forschern eine Reihe von Einzellern (vor allem Wimperntierchen/Ciliaten) gefunden, die im Eis selbst und unmittelbar unter dem Eis leben und überleben können.

Fallen am Seegrund

Von 2001 bis 2006 haben wir im Silvaplannersee Sedimentfallen ausgesetzt. Mit diesen automatisch arbeitenden Probensammlern lassen sich auch bei Eisbedeckung in Probenintervallen von nur 1–2 Tagen die in der Wassersäule absinkenden Schwebstoffe (Partikel) bestimmen. Wie erwartet zeigten die Resultate der Laboruntersuchungen saisonale Unterschiede mit deutlich höheren Sedimentationsraten während der eisfreien Zeiten, bedingt durch die im Sommer auftretenden Schmelzwässer und die seeinterne biologische Produktion. Aussergewöhnlich war der «Hitzesommer 2003», dessen Schwebstoff-Maximum von 71 g/m² und Tag um das Drei- bis Fünffache über den maximalen Schwebstoffwerten von «normalen» Sommern lag (Abbildung), bedingt durch das erhöhte Abschmelzen der Gletscher im Einzugsgebiet. Die grössere Überraschung war jedoch nicht der Hitzesommer 2003, sondern dass generell nicht nur während der Sommerperiode, sondern auch in den Monaten der Eisbedeckung erhöhte Werte an biogenem Silizium (BioSi) in den Schwebstoffproben festgestellt wurden. Da BioSi aber ausschliesslich von seeintern gebildeten

Oben: Weil die Seile sich verheddert haben, müssen Taucher die Sedimentfallen im zugefrorenen Silvaplannersee bergen (Mike Sturm).

Unten: Europas Seen werden immer wärmer, auch der Walensee (Keystone).



Saisonale Verteilung von biogenem Silizium (BioSi) im Sedimentfallenmaterial des hochalpinen Silvaplannersees. Die Elektronenmikroskop-Aufnahmen von Proben mit erhöhten BioSi-Werten zeigen, dass das massenweise Auftreten von Diatomeen-Gehäusen (Stäbchen) und vereinzelt von Chrysophyceen-Gehäusen (runde Formen) für diese Spitzen verantwortlich ist.

Algen stammen kann (Kieselalgen/Diatomeen, Goldalgen/Chrysophyceen), müssen im Silvaplannersee mit einer mittleren jährlichen Eisbedeckung von 146 Tagen zeitweise auch unter dem Eis Nährstoff-, Temperatur- und Lichtbedingungen herrschen, welche photosynthetische Prozesse zur Algenbildung erlauben. Dass es sich hier sehr wohl um biologische Produktion, also um «Leben unter Eis», handeln muss, beweisen die gleichzeitig erhöhten Werte an organischem Kohlenstoff (C_{org}), die ausgezeichnete Korrelation von C_{org} mit BioSi ($r^2 = 0,99$, p

$<0,001$) und das niedrige, auf Algenwachstum deutende Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N-Werte ≤ 10). Schliesslich konnte durch die Untersuchung der Proben im Rasterelektronenmikroskop (REM) bestätigt werden, dass hauptsächlich Diatomeen- und Chrysophyceen-Reste den Aufbau dieser Proben bestimmen. Da die Ab-

Klimaforschung im Engadin

Das vom Schweizer Nationalfonds finanzierte interdisziplinäre Forschungsprojekt ENLARGE (ENvironmental changes in mountain regions; recorded in high-resolution archives of LAKes of the Uppere Engadin) untersucht seit 2001 die Klima- und Umweltbedingungen im Oberengadin – unter anderem auch die Fragen nach dem Leben unter dem Eis. ENLARGE wurde in enger Zusammenarbeit mit dem nationalen Forschungsschwerpunkt Klima des Nationalfonds (NFS-Klima) durchgeführt. Seit 2001 arbeiten in diesem Netzwerk mehr als 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 12 Universitäten und Forschungsinstitutionen zusammen. Ihr gemeinsames Ziel ist das bessere Verständnis des Klimasystems sowie des Klimawandels und seiner Folgen für Ökosysteme. Zusammen mit dem Bündner Naturmuseum hat NFS-Klima soeben die Broschüre «Klimaforschung – auf Spurensuche im Engadin» herausgegeben. Sie kann gratis bezogen werden unter info@bnm.ch oder 081 257 2841.



Berung der Sedimentfallen aus dem Silvaplannersee (1791 m ü. M.).

Europas Seen werden immer wärmer



Erstmals wurden im Lunghinsee (2484 m ü. M.) Sedimentkern- und Wasserproben genommen. Für den Materialtransport wurde ein Helikopter benötigt.

sinkgeschwindigkeit der Gehäuse nach dem Absterben der Algen bekannt ist, konnten wir auch ausschliessen, dass es sich um Reste von Organismen handelt, die noch vor der Eisbedeckung gebildet wurden.

Ähnliche Befunde in Schweden und Sibirien

Auch im schwedischen Nylandsjön, einem kleinen See nahe dem nördlichen Polarkreis, und im Baikalsee in Sibirien haben wir das Leben unter Eis gesucht und gefunden. In beiden Seen, die über 150 Tage im Jahr eisbedeckt sind, wurden automatisch beprobende Sedimentfallen ausgesetzt. Auch hier zeigte sich, dass die Kieselalgenproduktion bereits unter dem Eis in den Monaten April/Mai einsetzt und zur Erhöhung der BioSi- und C_{org}-Werte der Schwebstoffe führt. Wie im Silvaplannersee wurde auch in den Proben dieser Seen durch REM-Analysen bewiesen, dass Kieselschalen von *kryophilen* Diatomeen diese Erhöhung verursacht haben. Das Leben unter Eis stellt also einen wichtigen Bestandteil des ökologischen Kreislaufs dar, dem bisher wenig Beachtung geschenkt wurde. Die globale Klimaerwärmung führt unter anderem schon heute zu einer deutlichen Verkürzung der Eisbedeckung von Seen und Meeren (siehe rechts). Auswirkungen dieser Entwicklung auf kryophile Organismengruppen und damit auf mögliche Veränderungen für aquatische Ökosysteme sollten daher durch eine bessere Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen Eis und Leben intensiver untersucht werden. ○ ○ ○

Mit Daten aus Zürich-, Greifen- und Walensee hat sich die Eawag am EU-Projekt Clime (Climate and Lake Impacts in Europe) beteiligt. Die Schweizer Befunde wurden europaweit bestätigt: Europas Seen werden bis in ihre Tiefen immer wärmer. So ist der Zürichsee in den letzten 40 Jahren an der Oberfläche um mehr als ein Grad wärmer geworden, ab 20 Metern Tiefe um rund 0,5 °C. Zudem lässt sich messen, dass der Sommer im Zürichsee heute pro Jahr durchschnittlich zwei Wochen länger anhält als noch vor 30 Jahren.

Für die Fische werden aber nicht nur die hohen Temperaturen an der Oberfläche zum Problem. Weil die Dauer der Sommerstagnation (thermische Stabilität) des Sees zunimmt – das Wasser kann nur im Winter zwischen den tieferen und den oberen Schichten zirkulieren –, wird weniger Sauerstoff ins Tiefenwasser gemischt. Und weil die hohen Temperaturen die Algen rascher wachsen lassen, ist die Sauerstoffzehrung beim Abbau von abgestorbenem organischem Material höher. Die

lebensfeindlichen, sauerstoffarmen Zonen im See dehnen sich aus. Dazu ist mit weiteren Auswirkungen zu rechnen, im schlimmsten Fall auch auf die Wasserqualität, zum Beispiel wenn mehr potenziell giftige Blaualgen wachsen.

Später gefroren, früher aufgetaut

Historisch noch deutlich weiter zurückverfolgen als mit den Seetemperaturen lässt sich der Temperaturanstieg auf der nördlichen Halbkugel mit dem Gefrier- respektive Auftauzeitpunkt von Gewässern. So liegen zum Beispiel vom St. Moritzersee seit 1832 lückenlos Aufzeichnungen vor. Wir haben diese mit den Daten weiterer Seen und Flüsse verglichen, vom sibirischen Baikalsee bis zum Lake Mendota in Wisconsin, USA. Alle gefrieren sie etwa seit Mitte des 19. Jahrhunderts später zu und tauen früher wieder auf. Bezogen auf 100 Jahre, beträgt der Trend beim Zufrieren 5,7 und beim Auftauen 6,3 Tage. Die zusammengenommen 12 Tage entsprechen einem Anstieg der Lufttemperatur von 1,2 °C. Welches die Folgen der kürzeren Eisbedeckung sind, ist noch offen: Die zeitige Durchmischung im Frühling führt zu einer frühen Phytoplanktonblüte. Allerdings muss das Phytoplankton wegen der kürzeren Tage mit einer geringeren Lichtintensität auskommen, was sich auf die Zusammensetzung der Arten auswirken kann.



Messplattform auf dem Tschoppsee (2616 m ü. M.) im Engadin.

- Blass A., Grosjean M., Troxler A., Sturm M. (2007): How stable are 20th century calibration models? A high-resolution summer temperature reconstruction for the eastern Swiss Alps back to A.D. 1580 derived from proglacial varved sediments. *The Holocene* 17/1, 51–63.
- Blass A., Grosjean M., Livingstone D.M., Sturm M. (2007): Signature of explosive volcanic eruptions in the sediments of a high-altitude Swiss lake. *Journal of Paleolimnology* (in print).
- Weyhenmeyer G.A., Meili M., Livingstone D.M. (2004): Nonlinear temperature response of lake ice breakup. *Geophys. Res. Lett.*, 2004, 31 (7).
- Hari R., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H. (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Glob. Change Biol.*, 2006, 12, 1, 1377–1388.
- Livingstone, D.M. (2003): Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. *Clim. Change*, 57(1), 205–225.

Umweltveränderungen können Krankheitsrisiko erhöhen

Umweltveränderungen, zum Beispiel steigende Temperaturen, können für bestimmte Arten Stress bedeuten. Wir konnten mit Süswassermuscheln nachweisen, dass sie unter Stress anfälliger sind für Krankheiten oder den Befall mit Parasiten. Das hat Auswirkungen auf die Biodiversität in aquatischen Ökosystemen. Jukka Jokela

Wer kennt das nicht: Es ist Winter. Man arbeitet lange, schläft schlecht wegen eines nahenden Projekttermins, isst bloss nebenbei und liegt schliesslich am Vorabend einer wichtigen Sitzung mit Grippe im Bett. Wie sich Stress auf die Krankheitsanfälligkeit des Menschen auswirkt, ist relativ gut dokumentiert. Folgendes Szenario ist hingegen weniger bekannt: Es ist Sommer. Forellen leben in einem verschmutzten Fluss, das Wasser ist wärmer als üblich und die Nahrung ist knapp. Zudem enthält das Wasser einen Parasiten. Wir untersuchen, inwiefern von Veränderungen im Ökosystem verstärkte Stressfaktoren wie fehlender Sauerstoff, Temperaturanstieg oder Nahrungsmangel das Auftreten von Krankheiten in aquatischen Organismen fördern.

Parasiten lieben warme Flüsse

In den letzten 50 Jahren hat die Temperatur der Schweizer Flüsse stetig zugenommen. Längere Perioden mit Extremtemperaturen wie im Hitze-

sommer 2003 und insgesamt höhere Spitzenwerte rufen bei den betroffenen Organismen starken Stress hervor. Ihr Risiko zu erkranken steigt. Man geht davon aus, dass starker Stress die Abwehrmechanismen schwächt und dadurch einen Befall mit Parasiten oder Krankheitserregern fördert. Die Zahl der neuen Ansteckungen und schliesslich die Mortalität steigen. Ein Beispiel aus der Schweiz ist die in den letzten Jahrzehnten immer häufiger auftretende proliferative Nierenkrankheit (PKD). Sie ist mitverantwortlich für eine starke Dezimierung der Fischbestände – vor allem der Forellen – in Flüssen und Seen, und sie ist umso ansteckender, je höher die Temperaturen liegen [1, 2]. In einer laufenden Studie beobachten wir den Lebenszyklus der PKD-Parasiten und die Dynamik, wie sie auf Fische übergreifen.

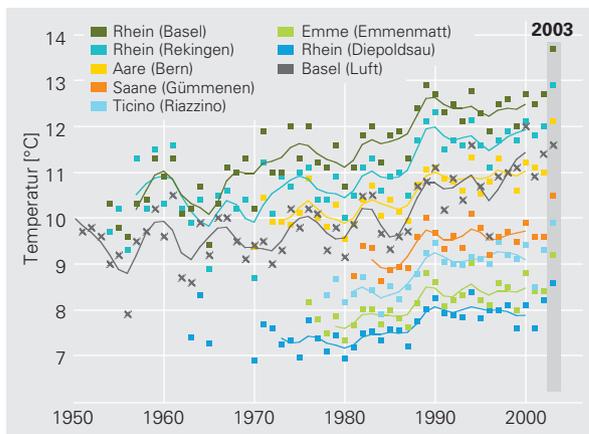
Muscheln unter Stress

Mit Experimenten in natürlich vorkommenden Populationen analysierten wir, wie Sauerstoff- und Nahrungsmangel – zwei starke Stressfaktoren – die Krankheitsanfälligkeit der Teichmuschelart *Anodonta piscinalis* beeinflussen. Sauerstoffmangel tritt in eutrophen Seen und Teichen auf, und die saisonal bedingte Schwankung des Nahrungsangebots kann für Muscheln bis zum Hungern führen. Gleichzeitig evaluierten wir die Auswirkungen zweier Parasitenarten, welche die Muscheln unterschiedlich stark plagen. Dabei fanden wir heraus, dass Muscheln unter beiden Stressbedingungen deutlich schneller an den parasitären Erkrankungen starben. Stress in Kombination mit einer Infektion scheint also die Überlebenschancen der Muscheln deutlich zu verschlechtern [3].



Bachforellen leiden besonders unter hohen Wassertemperaturen.

Beide Studien fallen in den Bereich der aquatischen Epidemiologie, der zunehmend an Bedeutung gewinnt. Er konzentriert sich auf das Verständnis der Ökologie und Evolution aquatischer Krankheiten sowie der umweltbedingten Faktoren, die ihr Auftreten fördern. Die zentrale Frage aber lautet: Wie verändern sich (parasitäre) Erkrankungen im Laufe der Zeit, und wie wirkt sich dies auf die Biodiversität und das Ökosystem aquatischer Lebensräume aus? Neben der Erforschung von Evolutions- oder Übertragungsdynamik der Erreger versuchen wir daher, verstärkt auch Trends zu prognostizieren. ○ ○ ○



Jährliche Durchschnittstemperatur von Schweizer Flüssen (nach «Auswirkung des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer», BAFU-Schriftenreihe Nr. 369). Quadrate = Jahresmittelwert, Linien = gleitendes Mittel über 7 Jahre.

- [1] Burkhardt-Holm P., Giger W., Güttinger H., Ochsenbein U., Peter A., Scheurer K., Segner H., Staub E., Suter M.J.F.: Where have all the fish gone? Environmental Science & Technology, 2005, 39, 21, 441A–447A.
- [2] Wahli T., Knuesel R., Bernet D., Segner H., Pugovkin D., Burkhardt-Holm P., Escher M., Schmidt-Posthaus H. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland: current state of knowledge. Journal of Fish Diseases 25, 491–500.
- [3] Jokela J., Taskinen J., Mutikainen P., Kopp K. (2005): Virulence of parasites in hosts under environmental stress: experiments with anoxia and starvation; Oikos, 2005. www.fischnetz.ch

Trockene Flüsse sind nicht immer schlimm

Mit dem Schwinden der Gletscher werden Bäche, die nicht ständig Wasser führen, auch im alpinen Raum immer häufiger. Bisher galten trockenfallende Bereiche in Flussläufen als biologisch inaktiv. Wir konnten zeigen, dass temporäre Gewässer sehr wohl Wirkung auf die Biodiversität haben, weil sie eine Populationsdynamik fördern. Christopher Robinson, Lisa Shama, Scott Larned¹, Thibault Datry²

Das Überleben von Populationen in unbeständigen Lebensräumen kann von den Organismen durch zwei Prozesse gesichert werden: Eine Spezialisierung (lokale Adaption) oder eine Anpassung von Gestalt und physiologischen Eigenschaften (phänotypische Plastizität). Fehlt eine solche Strategie, stirbt die Art lokal aus, und es muss eine Wiederbesiedlung aus anderen Populationen stattfinden.



Der Fluss Selwyn bei Christchurch (Neuseeland) vor und während einer Trockenperiode. Teile des Flussbetts können über ein Jahr lang trockenfallen.

Anpassung an zeitliche Limiten

Wir haben im Val Roseg am Beispiel der alpinen Köcherfliege *Allogamus uncatatus* untersucht, wie Entwicklung und genetische Struktur der Population auf Trockenstress reagieren. Larven aus dauerhaften Bächen wuchsen in Experimenten unter Trockenstress langsamer als solche aus periodischen Gewässern. Sowohl Larven aus periodisch wie solche aus dauernd Wasser führenden Bächen beschleunigten ihre Entwicklung, wenn mit künstlich verkürzten Tagen der nahende Winter simuliert wurde. Populationen aus permanenten Bächen zeigen Adaptationen an lokale Bedingungen, wogegen das Bild bei den Populationen aus temporären Gewässern uneinheitlich ist und grosse Unterschiede zwischen Männchen und Weibchen auftreten. Ein lokales Aussterben und die folgende Wiederbesiedlung aus benachbarten Populationen im Tal ist für Arten in trockenfallenden Gewässern normal. Dieser Austausch der Population beeinflusst die genetische Variation und damit die Evolution der Art. Sind viele Individuen aus vielen verschiedenen Quellen vorhanden, ist eine Homogenisierung der Populationen die Folge. Ist die Zahl der Individuen tief und stammen sie nur aus wenigen Quellen, folgt eine Differenzierung der populationsgenetischen Struktur. Wird die Wiederbe-

siedlung behindert, etwa durch ein grosses Hochwasser, reduziert sich die genetische Vielfalt, schädliche Mutationen werden weitergegeben, Inzucht nimmt zu, das Potenzial der Population zur Adaptation nimmt ab.

Metapopulationsstruktur

Mit Mikrosatelliten-Markern haben wir die genetische Struktur von *Allogamus*-Populationen vor und nach einer grossen Trockenperiode (Sommer 2003) untersucht und dabei auch ihre Vernetzung zu benachbarten Gebieten einbezogen. Es zeigte sich, dass Genfluss häufig sein muss, denn keine der Populationen war von den anderen signifikant differenziert. Insgesamt zeigt *Allogamus uncatatus* eine Metapopulationsstruktur: Die Köcherfliegen bilden ein Netzwerk aus Populationen, das durch Migration, lokales Verschwinden und Wiederbesiedlung gekennzeichnet ist.

Eine Adaptation an die Selektionsdrücke in trockenfallenden Gewässern findet kaum statt, weil das Überleben durch den Genfluss aus dauernd Wasser führenden Bächen in der Umgebung gesichert wird.



¹ Institut Niwa, Christchurch

² Institut Cemagref, Lyon

Dauer der Trockenperiode entscheidend

Nur temporär überflutete Übergangszonen zwischen Wasser und Land steigern in Flusslandschaften die Vielfalt an Lebensräumen und weisen in der Regel auch eine hohe Biodiversität auf. Die Überflutung löst kurze Perioden aus mit grosser biogeochemischer und biologischer Aktivität: Plötzlich stehen Nährstoffe und organisches Material zur Verfügung, Wachstum (Algen, Mikrobiologie) setzt ein, Invertebraten schlüpfen. Umgekehrt tötet und vertreibt die Überflutung aber auch Landlebewesen oder zwingt sie, sich in widerstandsfähige Stadien zu begeben.

Wir haben im Fluss Selwyn in Neuseeland die Effekte einer 17 Tage dauernden Überflutung auf Invertebraten und Mikroben in den Sedimenten untersucht. Vor den Probenahmen waren die Sedimente zwischen 1 und 592 Tagen lang trocken gefallen: Artenvielfalt und Artenzahl nehmen beide rasch ab mit zunehmender Länge der Trockenperiode. Auch die mikrobiologische Aktivität – bestimmt über Respiration und Esterase-Aktivität – sinkt exponentiell. Nur wenige resistente Arten überleben, und von ihnen auch nur wenige Exemplare. Dauern die Trockenperioden länger als ein Generationenwechsel, wird der Einsatz einzelner Anpassungsmechanismen verhindert. Nur noch die Ausbildung von resistenten Eiern oder Puppen ermöglichen ein Überleben. Bei den an Land lebenden Arten sind es dagegen Gaskiematmung und wasserdichte Eier, welche diese die Überflutung überstehen lassen. Eine natürliche Dynamik erhöht also auch in nicht ständig Wasser führenden Flüssen die Biodiversität. Wasserentnahmen oder Regulierungen, welche ein Flussbett über lange Zeit trockenfallen lassen, führen hingegen zu einem Verlust an Arten.

Shama L.N.S., Robinson C.T.: Sex-specific life-history responses to seasonal time constraints in an alpine caddisfly. *Evolutionary Ecology Research* 2006(1)

Robinson C.T., Matthaei S., Logue J.B.: Rapid response of alpine streams to climate induced temperature change. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 2006, 29, 1565–1568.

Hochwasser und Kläranlagen steuern Energie- und Sauerstoffhaushalt

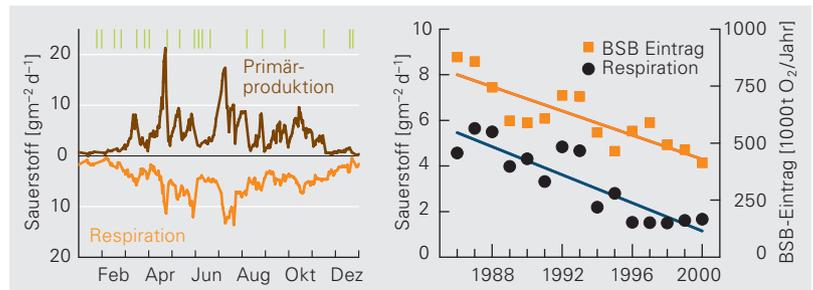
Der Verlauf der Sauerstoffkonzentration erlaubt es, Primärproduktion und Sauerstoffzehrung in Fließgewässern zu berechnen. Dank einer langen Datenreihe kann an der Thur auf Veränderungen im Einzugsgebiet – vor allem auf eine verbesserte Leistung der Kläranlagen – rückgeschlossen werden. Urs Uehlinger

Primärproduktion und Sauerstoffzehrung sind Schlüsselprozesse im Energiehaushalt von Fließgewässern. Die Primärproduzenten (Algen, Moose und höhere Wasserpflanzen) produzieren mit der Energie des Lichtes aus anorganischen Verbindungen organische Substanz, wobei sie Sauerstoff freisetzen. Primärprodukte und organische Substanz aus dem Gewässerumland werden von Nichtprimärproduzenten – Mikroorganismen, wirbellose Tiere – abgebaut, wobei Sauerstoff verbraucht wird (Respiration). Trotz Wiederbelüftung im Fluss kann es dadurch zu tiefen Sauerstoffwerten kommen. Die Wasserqualität leidet. Primärproduktion und Respiration führen im Laufe des Tages zu Schwankungen der Sauerstoffkonzentration im Wasser. Daher lassen sich aus der Sauerstoff-Tagesganglinie Primärproduktion und Respiration eines Gewässerabschnittes berechnen.

Einmalig lange Messreihe

Im Unterlauf der Thur, einem voralpinen Zubringer des Hochrheins, wird bei der NADUF¹-Station Andelfingen seit 1986 die Sauerstoffkonzentration kontinuierlich aufgezeichnet. Anhand dieser einmaligen Sauerstoff-Zeitreihe war es möglich, die Primärproduktion und die Respiration für den 28 km langen, oberhalb der Messstation gelegenen Flussabschnitt mit hoher zeitlicher Auflösung zu rekonstruieren.

In der Thur sind Geschiebe führende Hochwasser häufige Störungen, die im Mittel 15-mal pro Jahr auftreten. Solche Hochwasser schädigen die Primärproduzenten (Algen), die an der Oberfläche der Gewässersohle wachsen, wesentlich stärker als die Nichtprimärproduzenten, de-



Links: Primärproduktion und Respiration 1995. Grüne Striche = Geschiebe führendes Hochwasser. **Rechts:** Trend der jährlichen Respirationsraten und des jährlichen Eintrages leicht abbaubarer organischer Substanz gemessen als BSB aus den fünf grössten Kläranlagen oberhalb der Untersuchungsstrecke.

ren Lebensraum auch die tieferen, relativ geschützten Bereiche der Gewässersohle umfasst. So reduzieren Hochwasser die Primärproduktion im Mittel um 50%, die Respiration hingegen nur um 20%. Hingegen erholt sich die Primärproduktion zwischen Frühjahr und Herbst innerhalb kurzer Zeit (<20 Tage), während die Respiration nach einem Hochwasser nur langsam wieder zunimmt (Abbildung links). Relativ hohe Konzentrationen der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor, hohe Wassertemperaturen und günstige Lichtverhältnisse fördern die rasche Erholung der Primärproduktion.

Kläranlagen zeigen Wirkung

In der Periode 1986–2000 zeigte die jährliche Primärproduktion keine gerichtete Veränderung. Zwar sank im gleichen Zeitraum die mittlere Phosphatkonzentration von 0,187 auf 0,047 mg P/l. Dieser letzte Wert ist aber immer noch 3- bis 15-fach höher als die Schwelle, unterhalb der Algenwachstum und Primärproduktion durch die Phosphorkonzentra-

tion limitiert werden. Im Gegensatz zur Primärproduktion sank die durchschnittliche jährliche Respiration um rund 50% (Abbildung rechts). Diese Abnahme fällt zusammen mit einer deutlichen Reduktion leicht abbaubarer organischer Verbindungen, gemessen als biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB), die aus den fünf grössten Kläranlagen oberhalb der Untersuchungsstrecke in die Thur gelangen. Der Schluss liegt daher nahe, dass vor allem die verbesserte Elimination organischer Stoffe in den Kläranlagen die jährliche Sauerstoffzehrung in der Untersuchungsstrecke minderte – immerhin 1133 t O_2 in 15 Jahren. ○ ○ ○

Uehlinger U. (2006): Annual cycle and inter-annual variability of gross primary production and ecosystem respiration in a floodprone river during a 15-year period. *Freshwater Biology* 51, 938–950.

Jakob A., Binderheim-Bankay E. et al. (2002): «National long-term surveillance of Swiss rivers». Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 28, 1101–1106.

¹ NADUF: Nationale Daueruntersuchung der schweizerischen Fließgewässer; www.naduf.ch.

Die Seeforellen laichen wieder im Vorderrhein

Mit dem Bau der Fischtreppe beim Kraftwerk Reichenau wurden die Laichplätze der Seeforellen im Hinter- und Vorderrhein wieder erschlossen. Mit radiotelemetrischen Untersuchungen konnten wir nachweisen, dass die Fische diese Möglichkeit auch wirklich nutzen. Ausserdem konnten die Ansprüche der stark bedrohten Fischart an ihre Laichgründe dokumentiert werden. Reto Caviezel, Armin Peter

Alte Quellen [2] dokumentieren, dass die Seeforellen aus dem Bodensee im Vorderrhein früher für ihre Fortpflanzung bis nach Disentis aufgestiegen sind. Der Bau des Kraftwerks Reichenau (1959) schnitt die wichtigen Laichgebiete im Vorder- und Hinterrhein vom Bodensee ab. 40 Jahre später, im Jahr 2000, wurde in die Anlage eine Fischtreppe integriert.

126 Kilometer ab Bodensee

Unsere radiotelemetrischen Untersuchungen aus den Jahren 2001 und 2002 lieferten erste Hinweise zur Aufwanderung der Seeforellen. 2005/2006 haben wir nun gezielt abgeklärt, wie die wieder zugänglichen Laichgebiete im Hinter- und Vorderrhein genutzt werden und welche Ansprüche die bedrohte Art an ihren Laichgrund stellt. 19 aufwandernde Seeforellen mit Längen von 53 bis 73 cm wurden im Oktober 2005 in der Fischtreppe Reichenau – 90 km oberhalb des Bodensees – in einer Reuse gefangen. Die Fische wurden narkotisiert, vermessen und mit einem Sender ausgerüstet. Mit Richtantennen und Empfänger konnten sie laufend exakt geortet werden.

4 Fische wanderten in den Hinterrhein, 15 in den Vorderrhein. Durch-

schnittlich 5 km/Tag schwammen die Forellen den Vorderrhein aufwärts. 10 Tage nach dem Fang in der Fischtreppe hatten fast alle ihre Laichplätze erreicht. Die mittlere Wanderungsdistanz ab dem Wehr Reichenau betrug 20 km (Minimum 8,7 km, Maximum 35,8 km). Im Hinterrhein schwamm ein Weibchen 16 km flussaufwärts, bis zur Einmündung der Albula. Die benutzten Laichgebiete im Vorderrhein verteilen sich auf die Strecke zwischen Trin (6 km oberhalb Reichenau) und Tavanasa (36 km oberhalb Reichenau). Weiter flussaufwärts als das Kraftwerk Tavanasa ist keine der markierten Seeforellen gewandert. Die maximal beobachtete Wanderdistanz einer Seeforelle aus dem Bodensee betrug 126 km. Derart lange Wanderungen sind in keinem anderen Gewässer der Schweiz mehr möglich.

Gute Überlebenschancen

Die bevorzugte Fließgeschwindigkeit über den Laichhabitaten beträgt 55 cm/s (Bereich 28–85 cm/s), die Wassertiefe 32 cm (Bereich 18–50 cm). Kies mit einer Korngrösse von 15–65 mm ist das bevorzugte Laichsubstrat. Auf den inventarisierten Laichplätzen befanden sich mehrere Laichgruben, maximal 5–6. Das Überleben der Eier im durchströmten Kies wurde mit einem Inkubationsexperiment dokumentiert. Im Vorderrhein wurden Seeforellen-Eier in Plastikboxen vergraben. Von 200 Eiern, die anfangs Dezember 2005 exponiert wurden, überlebten bis im April 2006 174 Eier (78%). Die natürliche Reproduktion in diesem Laichgebiet und vermutlich auch in grossen Teilen des übrigen Vorderrheins funktioniert also. Gesicherte Aussagen zur Situation im Hinter-



Eine Seeforelle (Männchen) aus dem Bodensee, gefangen im Alpenrhein.

rhein können noch nicht gemacht werden, weil wir zu wenige Fische beobachten konnten. Ausserdem ist der kraftwerkbedingte Einfluss des raschen An- und Abschwellens («Schwall-Sunk») in der Wasserführung auf die natürliche Verlaichung noch näher zu klären.

Schwierig scheint die Rückwanderung zu sein. Von den 38 markierten Seeforellen in den Jahren 2001 und 2002 gelang es nur gerade 7 Fischen (18%), wieder in den Bodensee zurückzuschwimmen. Trotzdem lassen die Ergebnisse hoffen, dass sich der Bestand der stark gefährdeten Seeforellen in den nächsten Jahren positiv entwickelt. ○○○



Der Radiosender ist in Kunstharz eingebettet und wird in die Körperhöhle der Seeforelle eingepflanzt.

[1] Caviezel R. (2006): Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein; Diplomarbeit ETHZ betreut von Armin Peter. www.rhone-thur.eawag.ch > Publikationen.

[2] Klunzinger C.B. (1881): Die Fische in Württemberg, faunistisch-biologisch betrachtet, und die Fischereiverhältnisse daselbst. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg 37, 172–304.

Verstärkte Wassertrübung reduziert Fischartenvielfalt

Menschliche Eingriffe in Ökosysteme haben einen starken Einfluss auf die Prozesse, durch die neue Arten entstehen, sich verändern und wieder verschwinden. So führte im Viktoriasee die zunehmende Trübung des Wassers zu Veränderungen in der Ökologie der Buntbarsche, die zur Folge hatten, dass einst unterschiedlich adaptierte Arten durch vermehrte Hybridisierung zu wenigen Hybridpopulationen zusammenschmolzen. Vicky Schneider, Ole Seehausen

Wenig wählerische Fische haben einen Selektionsvorteil im trüben Wasser.

Taucher im Viktoriasee – dem grössten Binnengewässer Afrikas – fühlen sich oft wie in einem Aquarium: Eine erstaunliche Vielfalt an Buntbarschen (beliebte Aquariumfische und wichtigster tropischer Speisefisch) bewohnt das Süsswassermeer. Das Ökosystem bietet auch Wissenschaftlern, die sich für die Dynamik der Biodiversität interessieren, ein einmaliges Forschungsumfeld. Mitarbeiter der Abteilung Fischökologie und Evolution reisen regelmässig an den Vik-

toriasee, um Mechanismen zu untersuchen, die zur Entstehung und zum Verlust von Artenvielfalt führen.

Wählerische Fische sterben aus

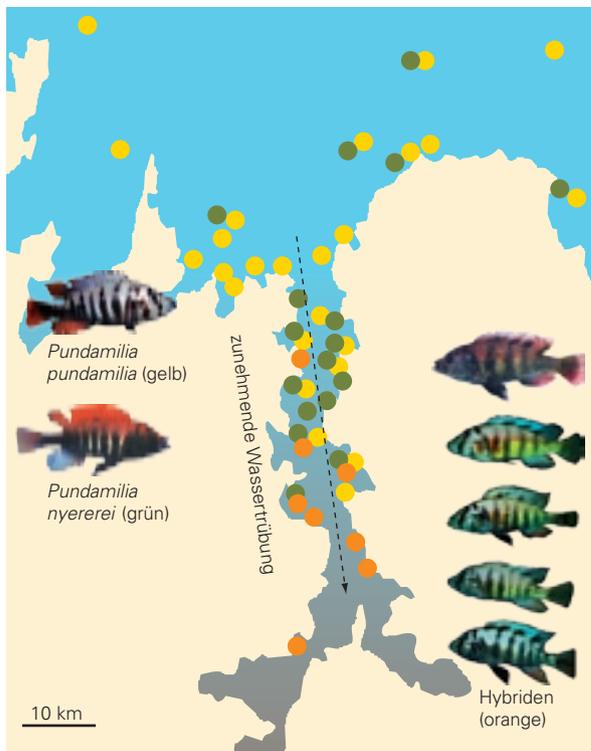
Der Viktoriasee ist einmalig: 500 endemische Arten entstanden hier in wenigen tausend Jahren. Leider fand in ihm auch das grösste Massenaussterben von Tierarten in der Geschichte statt. Durch Einführung des Nilbarsches und Entwaldung wurde das Ökosystem einem dramatischen Wandel unterworfen, und etwa 200 Buntbarscharten verschwanden in den letzten 25 Jahren.

Wir untersuchen diesen Prozess seit 15 Jahren und haben festgestellt, dass zunehmende Wassertrübung die Koexistenz der Buntbarscharten stark beeinflusst. So fanden wir an Stellen mit klarem Wasser mehr als 30 genetisch und ökologisch unterscheidbare Arten, aber in trübem Wasser nur ein paar wenige Arten, von denen einige die Merkmale mehrerer Klarwasserarten verbinden. Die schlechtere Sicht schränkt die Buntbarsche ein: der Aufwand bei Partnersuche und Nahrungswahl steigt. Weniger wählerische Fische erhalten einen Selektionsvorteil, da sie weniger Zeit aufbringen und weniger Risiken auf sich nehmen. Durch zufällige Verpaarung werden aus mehreren ökologisch spezialisierten Arten wenige unspezialisierte Hybridpopulationen.

Mwaiko und Kollegen haben kürzlich die mitochondriale DNA (mtDNA) und Zellkern-DNA von verschiedensten Arten aus sämtlichen Flusssystemen analysiert, die historisch mit dem Viktoriasee in Verbindung standen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Vielfalt der Buntbarscharten von mindestens vier verschiedenen Flussbuntbarscharten abstammt, wenn man die DNA des Zellkerns betrachtet, aber nur von einem, wenn man die mtDNA betrachtet. Dieser Widerspruch deutet darauf hin, dass ursprünglich mindestens vier nicht verwandte Arten die Flüsse der Region bewohnten, welche bei der Besiedlung des Viktoriasees hybridisiert haben, und dass sich danach diverse Anpassungen in einer heterogenen Umwelt mehrere hundert endemische Arten aus dem genetisch variablen, hybriden Urahn entwickelten.

Umweltvielfalt entscheidend

Betrachtet man beide oben skizzierten Aspekte, zeigt unsere Arbeit, dass Hybridisierung zwischen Arten zur Entstehung von Biodiversität beitragen kann, wenn Evolution in einer heterogenen Umwelt stattfindet. Verliert die Umwelt aber ihre Heterogenität (z.B. durch Trübung des Wassers), so bricht die Artenvielfalt als Folge der Hybridisierung auch schnell wieder zusammen. Wir untersuchen daher derzeit, inwiefern ähnliche Prozesse Ursprung und Verlust von Artenvielfalt der Felchen in Schweizer Seen beeinflussen. ○ ○ ○



Der Mwanza-Golf, aus dem wir zwei Buntbarsch-Arten, *Pundamilia nyererei* und *Pundamilia pundamilia*, entnommen haben. An Stellen mit hoher Wasserklarheit waren beide Spezies eindeutig vorhanden (grüne und gelbe Punkte). Im trübere Wasser wurde hingegen ein erhöhtes Vorkommen hybrider Phänotypen (orange Punkte) festgestellt.

Der Urahn der Buntbarsche

Auf der anderen Seite untersuchen wir, wie ökologische Selektionsdrücke und genetischer Austausch zwischen Populationen zum Aufbau von Biodiversität beitragen. Salome

Seehausen (2006): Conservation: Losing biodiversity by reverse speciation. Current Biology Vol 16(9). www.fishecology.ch

Greenhydro wird international

Sechs Jahre nach Abschluss des Ökostrom-Projekts zeichnet sich immer deutlicher ab, dass die Eawag mit dem *greenhydro*-Verfahren ein leistungsfähiges Instrument entwickelt hat, welches das Potenzial zum internationalen Ökostrom-Standard hat. Eine Übertragung nach Deutschland ist machbar, und neu zeigt auch China Interesse am *greenhydro*-Standard.

Annette Ruff, Jochen Markard, Cirus

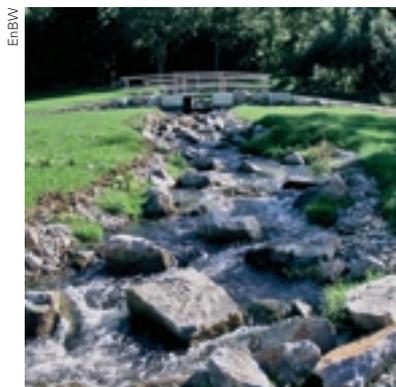
In der Schweiz steigt der Absatz von Ökostromprodukten, welche nach *naturemade star* zertifiziert sind, markant. Spitzenreiter dürfte das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) werden. Hier hat sich der Absatz 2006 mehr als verzehnfacht – auf rund 180 GWh oder 6% vom gesamten Stromabsatz. Wichtigste Quelle für zertifizierten Ökostrom bleibt die Wasserkraft. Wasserkraftwerke, welche nach dem an der Eawag entwickelten *greenhydro*-Verfahren zertifiziert wurden, decken mehr als 80% des Ökostrombedarfs in der Schweiz. Aber auch im Ausland stammt der Löwenanteil des grünen Stroms aus Wasserkraft. Daher sind auf internationaler Ebene Bestrebungen im Gang, einheitliche Qualitätsstandards für Ökostrom aus Wasserkraft zu definieren. Die Eawag hat sich im Rahmen des Clean-E-Projekts daran beteiligt, die Übertragbarkeit des *greenhydro*-Standards auf andere Länder vorzubereiten. Gleichzeitig wurde zusammen mit Partnern aus dem Hochschulbereich und der Elektrizitätsbranche eine Machbarkeitsstudie für Deutschland erarbeitet.

Einspeisevergütung als Konkurrenz

Mit vier Pilotanlagen konnte gezeigt werden, dass die Grundanforderungen gut auf deutsche Kraftwerke anwendbar sind. Schwierigkeiten bereiten hingegen die rechtlich-ökonomischen Rahmenbedingungen in Deutschland: Während das *greenhydro*-Verfahren mit den Vorschriften zum Gewässerschutz voll kompatibel ist bzw. deutlich über diese hinausgeht, entstehen durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zur Förderung einer umweltfreundlichen Stromerzeugung neue Herausforderungen. Das EEG legt Tarife fest

für die Stromproduktion aus kleinen oder renovierten Wasserkraftanlagen. So besteht bei deren Betreibern wenig Interesse, zusätzlich auch noch die strengen *greenhydro*-Kriterien zu erfüllen. Eine Zertifizierung ist also vor allem für Kraftwerke, die keine Vergütung aus dem EEG erhalten können, attraktiv. Dazu gehören bestehende Laufwasserkraftwerke mit einer elektrischen Leistung größer als 5 MW und sämtliche Speicherkraftwerke.

Eine weitere Herausforderung ist, dass die deutschen Ökolabels den Wasserkraftstrom bislang ohne strenge Auflagen akzeptieren. Eine Verschärfung der Kriterien wäre aber für Kraftwerke, die heute in einem schlechten ökologischen Zustand sind und dennoch Ökostrom verkaufen, mit erheblichen Kosten verbunden. Daher stellen sich einige der etablierten Ökostromanbieter und Kraftwerksbetreiber gegen den *greenhydro*-Standard. Sie bezweifeln, dass ihre Kunden bereit sind, für strengere ökologische Auflagen einen höheren Preis zu bezahlen. Es obliegt nun den Ökolabels, wie etwa «ok-power», in diesem Interessenkonflikt eine Entscheidung herbeizuführen.



Umgebungsgewässer mindern die vom Kraftwerk verursachte Zäsur und erfüllen als Fischaufstiegshilfen die *greenhydro*-Kriterien.

Wenlin Tang



Das internationale Interesse am *greenhydro*-Verfahren wächst. Neben der deutschen und der englischen Version existiert die Basispublikation mittlerweile auch auf Französisch, Italienisch und Chinesisch.

Kompatibel mit Wasserrahmenrichtlinie

Neben dem Ökolabeling ist das *greenhydro*-Verfahren aber auch im Zusammenhang mit der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) von Bedeutung. Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass der *greenhydro*-Standard mit den Zielen und Qualitätskriterien der Richtlinie grundsätzlich kompatibel ist. Die *greenhydro*-Grundanforderungen gehen in verschiedenen Punkten sogar über die Forderungen der WRRL hinaus, und das Eawag-Verfahren bietet komplementäre Vorgehensweisen zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie vor Ort, zum Beispiel den Einbezug lokaler Stakeholder bei der Festlegung ökologischer Fördermassnahmen. ○○○

Bratrich C., Truffer B. (2001): Ökozertifizierung von Wasserkraftanlagen – Konzepte, Verfahren, Kriterien. Eawag, Kastanienbaum. Ökostrom Publikationen Band 6.

Ruff A. et al. (2006): Greenhydro Deutschland: Übertragbarkeit des Schweizer *greenhydro*-Konzeptes als Standard einer umweltgerechten Wasserkraftnutzung auf Deutschland – Machbarkeitsstudie. Eawag, Dübendorf.

www.greenhydro.ch

www.naturemade.ch

www.eugenestandard.org

Kosmische Strahlung ohne Einfluss auf Wolken

Wasser spielt im Klimasystem eine fundamentale Rolle. Unter anderem hat die Ausdehnung der Wolkendecke Einfluss auf die ins All reflektierte Sonnenstrahlung. Wir haben eine Hypothese widerlegt, welche die globale Wolkendeckung als direkte Funktion der kosmischen Strahlung darstellt. Jürg Beer, Jasa Calogovic, Laurent Desorgher¹ und Erwin Flückiger¹

Wir fanden keinen signifikanten Zusammenhang zwischen kosmischer Strahlung und Wolkenbedeckung.

Als Treibhausgas behindert Wasser die Infrarotabstrahlung ins Weltall. In Form von Wolken, Schnee und Eis sorgt es umgekehrt dafür, dass ein Teil der Sonnenstrahlung reflektiert wird und nicht zur Erwärmung beiträgt. Zudem ist Wasser mit den Ozeanströmen sowie dem Verdampfen und Kondensieren stark am Energietransport von den äquatorialen in die polaren Gebiete beteiligt.

Kondensationskeime aus dem All

Vor einigen Jahren hat eine Hypothese unter den Klimatologen zu einiger Aufregung geführt. Sie besagt, dass die globale Wolkendeckung durch die Intensität der kosmischen Strahlung kontrolliert wird [1]. Da die Ausdehnung der Wolkendecke ihrerseits das Klima beeinflusst, kommt dieser Hypothese für Klimaprognosen sowie für die Bewertung des

menschlichen Einflusses auf das Klima grosse Bedeutung zu.

Der zugrunde liegende Mechanismus scheint einfach: Die hoch energetischen Teilchen der kosmischen Strahlung dringen aus dem Weltall in die Atmosphäre ein und erzeugen dabei Ionen, die zu Aerosolen anwachsen und zu Kondensationskeimen für Wolkentröpfchen werden [2]. Änderungen der kosmischen Strahlung verursachen damit Änderungen in der Wolkendeckung. Als Beweis wurde ein Vergleich der kosmischen Strahlung mit der globalen Wolkendeckung herbeigezogen, der in der Tat für die Zeit von 1980 bis 1995 eine gute Korrelation zeigt [3].

Millionen von Korrelationen

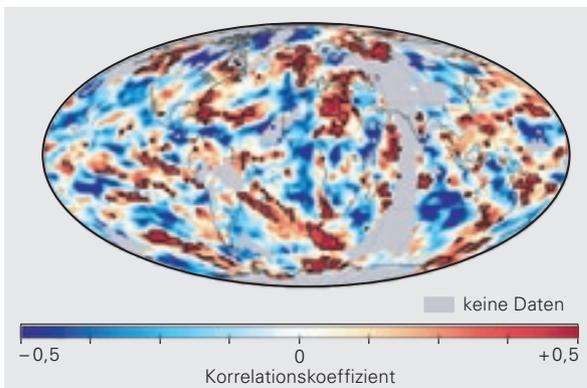
Wir haben diese Hypothese gemeinsam mit der Uni Bern geprüft [4]. Dazu wurden 6 Perioden von 20 Tagen aus den letzten 30 Jahren ausgewählt, während denen die kosmische Strahlung durch starke Eruptionen auf der Sonne ähnlich stark geschwankt hat wie über den Zyklus zwischen 1980 und 1995. Für jedes Ereignis wurde die Ionenproduktion in der Atmosphäre in Abhängigkeit von Höhe, Breite und Länge berechnet, und zwar mit einer zeitlichen Auflösung von 3 Stunden. Die Änderungen in der Ionisation wurden anschliessend mit den Satellitendaten der Wolken verglichen. Zwischen Ionisation und Wolkenbildung wurden Verzögerungen erlaubt (0–9 Tage), um der Bildung der Kondensationskeime Rechnung zu tragen. Insgesamt wurden mehrere Millionen Korrelationen berechnet.

Die Abbildung zeigt als ein Beispiel Ergebnisse für niedrige Wolken (bis 3,5 km über Meer), für welche die Verfechter der Hypothese eine starke positive Korrelation gefunden haben.

Es gibt gleich viel positive wie negative Korrelationen. Die Verteilung ist zufällig. Bereits früher haben wir am Beispiel einer starken Abnahme des Erdmagnetfeldes vor 40000 Jahren (Laschamp-Exkursion), die zu einer massiven Zunahme der kosmischen Strahlung geführt hat, nach Hinweisen für entsprechende Klimaänderungen gesucht, jedoch ohne Erfolg [5]. Auch zahlreiche weitere Analysen führen alle zum Schluss, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Intensität der kosmischen Strahlung und der irdischen Wolkendeckung gibt. Die globale Erwärmung – mit Änderungen im Wasserkreislauf wie Dürren, Überschwemmungen und langfristige Grundwasser- und Meeresspiegelschwankungen – kann also nicht einfach einem natürlichen Effekt zugeschrieben werden. ○ ○ ○

¹ Uni Bern

- [1] Svensmark H., Friis-Christensen E. (1997): Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 59, 1225–1232.
- [2] Yu F., Turco P.R. (2001): From molecular clusters to nanoparticles: Role of ambient ionisation in tropospheric aerosol formation, *Journal of Geophysical Research* 106.
- [3] Marsh N.D., Svensmark H. (2000): Low cloud properties influenced by cosmic rays, *Phys. Rev. Lett.* 85, 5004–5007.
- [4] Calogovic J. (2006): Forbush decrease und Wolkenbildung: Gibt es einen Zusammenhang? Diplomarbeit an der Eawag; Betreuung: Beer J., Flückiger E.
- [5] Wagner G. et al. (2001): Some results relevant to the discussion of a possible link between cosmic rays and the Earth's climate, *J. Geophys. Res.* 106, 3381–3387.



Die Verteilung der Korrelationen zwischen Ionisation und Wolkenbildung ist zufällig. Positive Korrelationen sind rot, negative blau dargestellt. Graue Gebiete werden durch die Satelliten nicht abgedeckt und können deshalb nicht untersucht werden. Gitterzellen = 3° x 3°.

Stickstoffverlust über Anammox-Prozess ist beträchtlich

Die mikrobielle Stickstofffixierung zählt zu den grossen Nährstoffquellen in Oberflächengewässern, die Denitrifizierung galt bisher als eine der grössten Senken. Jetzt zeigen Untersuchungen, dass ein weiterer Vorgang in die Gesamtbilanzierung der Stoffflüsse in einem Gewässer miteinbezogen werden muss: die anaerobe Ammonium-Oxidation, der Anammox-Prozess. Carsten Schubert, Edith Durisch-Kaiser, Bernhard Wehrli, Bo Thamdrup, Phyllis Lam, Marcel Kuypers

Im Anammox-Prozess wird Ammonium von Bakterien direkt mit Nitrit oxidiert und gasförmig als Luftstickstoff aus (Abb. 1a). Dieser Vorgang wurde zuerst in einem Abwasserreinigungsbetrieb beschrieben, wurde aber in den letzten Jahren auch in marinen Sedimenten und in der Wassersäule des Schwarzen Meers gefunden [1, 2]. Da Beschreibungen dieses Prozesses aus Süsswasserumgebungen bisher komplett fehlten, sind wir zu einer Expedition auf den tropischen Tanganjikasee aufgebrochen. Wir bestimmten die Gehalte von Sauerstoff, Sulfid und der verschiedenen Stickstoffverbindungen (Nitrat, Nitrit und Ammonium) über die ganze Seetiefe. Zudem machten wir Tracer-Untersuchungen mit stabilen Isotopen (^{15}N -markierte Substanzen). So konnten wir zum ersten Mal den Anammox-Prozess in der Wassersäule eines Sees nachweisen (Abb. 1b).

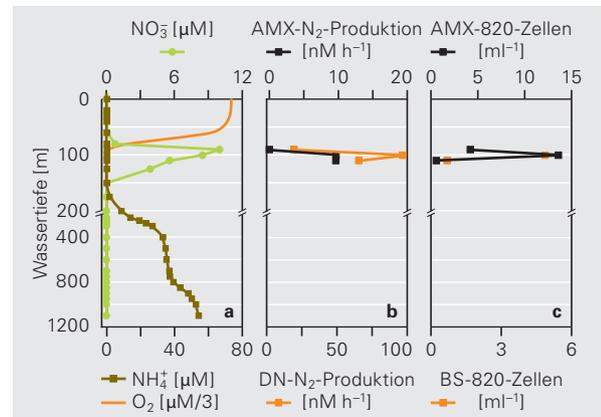
Anammox-Prozess lokalisiert

Nachdem ab rund 90 m Tiefe kein Sauerstoff mehr messbar war und Nitrat nur in einer Zone von 60–140 m auftrat, haben wir in Tiefen von 90, 100 und 110 m isotopisch markiertes Nitrat in Kulturflaschen gegeben. Nach einer Inkubationszeit von einem Tag bei In-situ-Tem-

peratur wurde das Isotopensignal des entstandenen Luftstickstoffs in einem Massenspektrometer gemessen. Die Bildung von Luftstickstoff mit einer Masse von 29 zeigte uns klar an, dass der Anammox-Prozess in der Wassersäule des Tanganjikasees stattfindet. Durch Fluoreszenz-In-situ-Hybridisierung, bei der man in der Wasserprobe vorhandene Mikroorganismen anfärben und unter dem Mikroskop identifizieren kann, war es zudem möglich, Anammox-Bakterien zu quantifizieren. Bis zu 13000 Zellen pro Milliliter oder 1,4 Prozent der Gesamtzellen waren Anammox-Bakterien (Abb. 1c). In einem weiteren Schritt sequenzierten wir die Erbmaterie der Zellen. So konnten wir zeigen, dass die Anammox-Bakterien im Tanganjikasee mit einer Verwandtschaft von 95,6% dem aus dem Schwarzen Meer bekannten Bakterium *Candidatus «Scalindua sorokinii»* sehr ähnlich sind.

Für Gesamtbilanz bedeutend

Für ein Gewässer und die darin vorkommenden Organismen sind die Stickstoffverbindungen als Nährstoffe lebenswichtig. Diese können durch Stickstofffixierung, externen Eintrag oder einer internen Umwandlung (Nitrifizierung) gewonnen werden. Auf der anderen Seite werden Nährstoffe aber auch zu Luftstickstoff umgewandelt und gehen dem Gewässer durch Entgasung verloren. Bisher wurde angenommen, dies geschehe ausschliesslich über die Denitrifizierung. Jetzt ist klar, dass der Anammox-Prozess in die Gesamtbilanzen einbezogen werden muss. Im Fall des Tanganjikasees bedeutet dies: Die Denitrifizierung trägt 87% zum Stickstoffverlust bei, der Anammox-Prozess die übrigen 13%.



Tanganjikasee:

- a) Konzentrationen von Nitrat, Ammonium und Sauerstoff.
b) Stickstoffproduktionsraten durch Anammox-Prozess und Denitrifikation.
c) Anzahl Zellen von Anammoxbakterien (Hybridisierung mit den Sonden Amx-820 und BS-820).

Dieser Anteil entspricht immerhin 200 Mio. Tonnen Stickstoff pro Jahr. In Gebieten wie der Auftriebszone im Südatlantik vor Namibia kann es sogar so weit kommen, dass man fast gar keine Denitrifizierung misst, sondern alles über den Anammox-Prozess läuft.

Unsere Forschungsergebnisse zeigen einmal mehr, dass vermeintlich Bekanntes und in allen Lehrbüchern Vermitteltes immer wieder revidiert werden muss. ○○○



Eine Pumpe, die Proben aus der Tiefe hinaufbringen soll, wird zum Absenken am Stahlseil vorbereitet.

- [1] Thamdrup B. and Dalsgaard T. (2002): Production of N_2 through anaerobic ammonium oxidation coupled to nitrate reduction in marine sediments. *Appl Environ Microbiol* 68, 1312–1318.
[2] Kuypers M.M.M., Sliekers A.O., Lavik G., Schmid M., Jorgensen B.B., Kuenen J.G. et al. (2003): Anaerobic ammonium oxidation by anammox bacteria in the Black Sea. *Nature* 422, 608–611.
[3] Schubert C.J., Kaiser-Durisch E., Wehrli B., Thamdrup B., Kuypers M.M.M. (2006): Anaerobic ammonium oxidation in a tropical lake (Lake Tanganyika). – *Environmental Microbiology* 8 (10), 1857–1863.

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 Chemikalienzulassungen 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

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 (Seite 49) gemeinsam mit den Einträgen aus der Landwirtschaft (Seite 43) 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. Für eine integrale Risikoabschätzung müssen Expositions- und 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 Schad-

immer

stoffe oder Schadstoffgemische im Organismus verteilen und wie sie sich am Zielort verhalten, lassen sich Effekte besser erklären und vorhersagen.

Im Austausch mit der Praxis

Die Eawag hat die Kräfte im Bereich der realistischen Expositionsszenarien gebündelt und arbeitet nebst mehreren EU-Projekten auch in Projekten des Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit (CCES) mit, vor allem in den Lehr- und Forschungsfeldern «Nachhaltige Landnutzung» sowie «Nahrung, Umwelt und Gesundheit» (Seite 5). Im Handlungsfeld Chemikalien und Effekte werden Grundlagen gelegt, 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 handlungsorientierte Konzepte, wie Stoffeinträge in Gewässer reduziert werden können oder wie mit bereits bestehenden Belastungen umgegangen werden soll. Die Artikel zu Bioziden aus Fassaden oder zum Antimon

auf Schiessanlagen sind Beispiele dazu. Das vom Bund geplante Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, das ab 2008 von der Eawag und der EPF Lausanne aufgebaut werden soll, wird diesen Austausch zwischen Forschung und Praxis weiter stärken.

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. Die Brücke zur Praxis schlägt die Eawag auch in diesem Bereich mit der Erforschung angepasster Methoden, welche auch auf soziokulturelle Eigenheiten in den betroffenen Gegenden Rücksicht nehmen. Die Zusammenarbeit mit dem Wasserprogramm der Diözese Nakuru in Kenia bei der Fluorid-entfernung ist ein Beispiel dafür (Seite 52).



Arzneimittel: Neue Ansätze in der Risiko- bewertung

Arzneimittel in Gewässern machen immer wieder Schlagzeilen. Die regulatorischen Richtlinien, um ihr Umweltrisiko zu bewerten, sind noch neu und stützen sich teilweise auf sehr grobe Schätzungen. Im Rahmen des EU-Projektes ERAPharm entwickeln wir verbesserte Modellierungsmethoden zur Risikovorhersage. Ziel ist ein möglichst realistisches Bild des Umweltverhaltens und der Effekte von Tier- und Humanarzneimitteln. Kathrin Fenner, Manuel Schneider, Beate Escher, Mats Larsbo

Im Verlauf der letzten Jahre wurden EU-weit harmonisierte Zulassungsrichtlinien für Human- und Tierarzneimittel entwickelt und als verbindlich verabschiedet [1, 2]. Sie enthalten Vorgaben, wie die Umweltrisikobewertung der Substanzen durchzuführen und im Rahmen des Zulassungsverfahrens zu gewichten ist. Während für andere Substanzen – wie Industriechemikalien und Pestizide – schon länger Richtlinien bestehen und die Methoden kontinuierlich weiterentwickelt worden sind, ist die Umweltrisikobewertung für Arzneimittel verhältnismässig neu. Die schematisierten Bewertungsabläufe greifen teilweise auf sehr grobe Schätzungen zurück, weil schlicht noch zu wenig bekannt ist über Verhalten und Wirkung der Stoffe in der Umwelt. Wir haben uns im Rahmen des EU-Projektes ERAPharm (siehe Kasten) zum Ziel gesetzt, diese Methoden so zu verfeinern, dass sie eine räumlich und zeitlich differenziertere Bewertung der Umweltrisiken ermöglichen und ein realistischeres Bild der tatsächlichen Belastungssituation liefern. Vier Beiträge der Eawag aus dem Bereich der Tierarzneimittel sollen dies im vorliegenden Beitrag illustrieren.

Von der Kuh ins Wasser

Der Einsatz von Hofdüngern oder Klärschlamm¹ auf landwirtschaftlichen Flächen ist eine mögliche Quelle für den Eintrag von Arzneimitteln ins Gewässer – wie und auf welchen Pfaden ist jedoch sehr verschieden. So hängt das Ausmass des Eintrags durch oberflächlichen Abfluss oder über Drainagen nicht nur von den chemischen Eigenschaften der Arzneimittel, sondern auch von Standortfaktoren ab. Die geltenden Zulassungsrichtlinien empfehlen prozessbasierte Bodentransportmodelle, um die Konzentrationen von kritischen Arzneimitteln in Gewässern vorherzusagen. Diese Modelle sind ursprünglich für Pflanzenschutzmittel entwickelt worden, und ihre Eignung für Arzneimittel wurde bisher kaum geprüft. Ein deutlicher Unterschied besteht zum Beispiel darin, dass Pflanzenschutzmittel meist in wässrigen Lösungen angewendet werden, während Arzneimittel in Klärschlamm oder Hofdünger auf den Boden gelangen. Das ausgebrachte organische Material beeinflusst nicht nur das Substanzverhalten, sondern auch die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften. So trägt z. B. Gülle zur

Spuren von Tierarzneimitteln gelangen von Weidetieren oder nach dem Ausbringen von Hofdüngern schliesslich auch in Gewässer. An der Eawag untersuchen wir, auf welchen Pfaden dies geschieht und entwickeln Tests, um zu beurteilen, welche ökotoxikologischen Wirkungen die Stoffe haben (Eawag/Keystone).

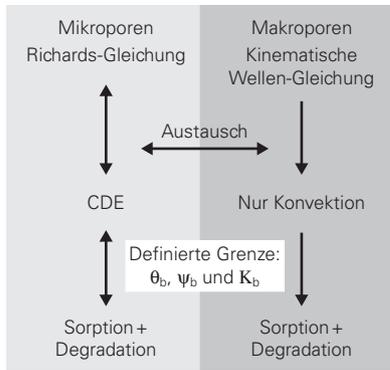


Abb. 1: Darstellung der wichtigsten Prozesse im Modell Macro. CDE: Konvektions-Dispersionsgleichung; θ_b , Ψ_b und K_b stehen für Wassergehalt, Druckpotenzial und hydraulische Konduktivität in der Grenzschicht zwischen Makro- und Mikroporen.

Bodenversiegelung und damit zu einem erhöhten Oberflächenabfluss bei. In unserem Projekt haben wir daher mehrere Modelle mit verfügbaren Daten aus Feldstudien mit Tier- und Humanarzneimitteln überprüft, insbesondere die Eignung von «Macro» [4]. Dieses Modell wurde entwickelt, um den Transport durch Bodenmakroporen abzubilden (Abb. 1). Mit globalen Optimierungstechniken und Bayesscher Statistik haben wir Unsicherheiten in den Modellparametern und den Vorhersagen abgeschätzt. Die Ergebnisse zeigen, dass «Macro» die Verluste verschiedener Sulfonamid-Antibiotika durch oberflächliche Abschwemmung und Drainage recht gut wieder-

gegeben kann (Abb. 2). Die physikalische Versiegelung des Bodens durch die Gülle konnten wir mit einem Modellzusatz mit modifizierten Bodenparametern für die oberste Bodenschicht abbilden. Trotzdem weisen die Resultate noch grosse Unsicherheiten auf und deuten darauf hin, dass die Felddaten nicht ideal waren für eine Modellevaluation. Um zu weiteren Verbesserungen zu kommen, müssen daher spezifisch ausgerichtete Feldstudien durchgeführt werden.

Grosse räumliche Unterschiede

Anträge zur Zulassung von Tierarzneimitteln werden in der EU zunehmend zentral behandelt, entweder durch ein Mitgliedsland oder die europäische Arzneimittelbehörde EMA². Auch die Schweiz übernimmt diese Entscheide oft. Doch nur wenn klar ist, unter welchen Bedingungen die Mittel in die Umwelt gelangen und wie kritisch diese Szenarien sind, kann die Arzneimittelprüfung auf die relevantesten und kritischsten Szenarien fokussiert werden. Räumlich gibt es sehr grosse Unterschiede innerhalb Europas, die wir in unserer Studie überprüft haben. Ausgangspunkt waren wiederum die bestehenden Szenarien für die Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, die auch für Veterinärpharmaka angewendet werden sollen.

ERAPharm

Das EU-Projekt «Environmental Risk Assessment of Pharmaceuticals», ERAPharm, will Lücken im Wissen und in den Verfahren zur Umweltrisikobewertung für Human- und Veterinärpharmaka füllen. Dazu zählen Studien über das Verhalten und die Aufnahme der Stoffe, über verursachte Effekte sowie zur Verbesserung von Vorhersagemodellen. Beteiligt sind 14 Partner aus sieben europäischen Ländern und Kanada. Auch Behörden und die Pharmaindustrie sind eingebunden. Zwei von acht Arbeitsgruppen werden von der Eawag geleitet. ERAPharm läuft über drei Jahre und soll im Oktober 2007 abgeschlossen werden. Die zwei zuletzt angeführten Beispiele aus der Eawag-Forschung zeigen, wie wichtig die Zusammenarbeit verschiedener Forschergruppen ist, um Erfolg zu haben: Während unsere Testreihe zum Nachweis von ökotoxikologischen Effekten nicht alle möglichen Wirkungen einschliessen kann, liefern die Versuche zur Membrangängigkeit des Ivermectin-Moleküls einen wichtigen Beitrag zur Interpretation der beobachteten Effekte auf Wirbellose.

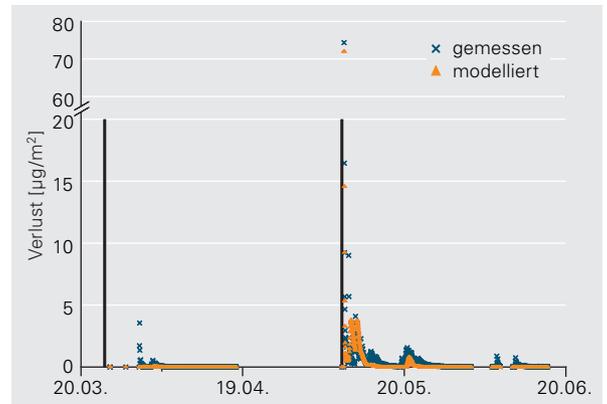


Abb. 2: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten Verlustraten an Sulfonamid-Antibiotika ab einer Testfläche im Greifensee-einzugsgebiet. Die Peaks gehen mit Regenfällen einher.

Wir haben uns auf kritische Bedingungen für den Eintrag von Tierarzneimitteln aus Gülle oder Mist in Oberflächengewässer konzentriert. Dazu haben wir georeferenzierte Informationen zusammengestellt, die den Austrag vom Boden ins Gewässer beeinflussen: Tierdichten sowie Klima- und Bodeneigenschaften, die Austragsprozesse begünstigen. In einer Clusteranalyse wurden dann Gruppen von Flächen mit ähnlichen Eigenschaften eruiert und mittels eines Bewertungsschemas nach ihrem Eintragsrisiko rangiert (Abb. 3).

Es zeigte sich, dass die bestehenden Szenarien für Pflanzenschutzmittel die kritischsten Situationen auch im Bezug auf Tierarzneimittel recht gut abdecken (Abb. 3). Zusätzlich gibt es für Tierarzneimittel kritische Szenarien in hügeligen Lagen der Mittelgebirge und in Ebenen des Mittelmeerraumes [5]. Die Szenarien für Pflanzenschutzmittel müssen also ergänzt werden, falls sie für Veterinärpharmaka verwendet werden sollen. Für die zusätzlichen Szenarien müssen detaillierte Transportmodelle wie z.B. «Macro» kalibriert werden, um Umweltkonzentrationen vorherzusagen.

Testreihe kann nicht alle Effekte erfassen

Vor allem Weidetiere werden oft mit Mitteln gegen Parasiten behandelt. Diese Antiparasitika werden mit Urin und Kot ausgeschieden und können Dungorganismen wie Dungfliegen und Dungkäfer gefährden. Durch Auswaschung mit Regen oder direkte Ausscheidung in Bäche gelangen Antiparasitika zudem auch in Gewässer, wo sie weitere Nicht-Zielorganismen schädigen können. In ERAPharm wurde eine vollständige Umweltrisikobewertung für das Mittel Ivermectin durchgeführt. Dabei untersuchten mehrere Projektpartner, welche Effekte die Substanz bei verschiedensten Boden- und Wasserorganismen auslöst. Die Eawag entwickelte dazu eigens eine Testreihe zum Erfassen von ökotoxikologischen Effekten. Sie konzentriert sich besonders auf die Wechselwirkungen zwischen Schadstoffen und biologischen Molekülen und die daraus resultierenden primären Effekte. Alle Ergebnisse aus dieser Testreihe deuten darauf

Körnchenpicker als Störfaktor

Forscher haben es manchmal schwer. Um möglichst präzise vergleichbare Resultate zu erhalten, haben Wissenschaftler im Rahmen von ERA-Pharm Kuhdung in exakt abgewogenen und chemisch analysierten Portionen sorgfältig auf ein Versuchsfeld ausgebracht. Nach dem nächsten Regenfall sollten erneute Messungen an den Tag bringen, welche Stoffe abgeschwemmt wurden oder in den Boden abgewandert sind. Woran niemand gedacht hat: Die Kühe im Stall hatten Silomais gefüttert, und unverdaute Maiskörner lockten Vögel zu den normierten Dungfladen. Die Körnchenpicker haben nicht nur die Massenbilanz, sondern auch die physikalische Struktur der Fladen durcheinander gebracht – und damit einer wissenschaftlich exakten Untersuchung für einmal den Riegel geschoben. (ab)

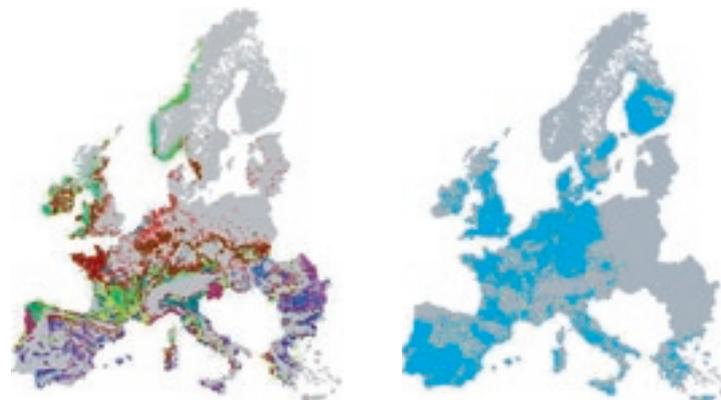


Abb. 3. Flächenabdeckung von Szenarien für die Belastung von Oberflächengewässern durch die Oberflächenabschwemmung von Tierarzneimitteln (zufällige Farben) im Vergleich mit der Abdeckung durch bestehende Szenarien für Pflanzenbehandlungsmittel (blau).

hin, dass Ivermectin unspezifisch toxisch wirkt. Einzig Algen haben bereits bei viel geringeren Konzentrationen spezifisch toxische Reaktionen gezeigt. Allerdings erbringen Untersuchungen von anderen Projektpartnern den Nachweis, dass Ivermectin auf Wirbellose, z.B. Wasserflöhe, hoch spezifisch wirkt – vermutlich durch den gleichen Wirkmechanismus wie der antiparasitische Effekt, nämlich eine Störung der Chloridkanäle bei Nervenzellen. Diesen sehr spezifischen Effekt deckt unsere Testreihe nicht ab.

Besser bioverfügbar als vermutet

Ivermectin ist ein halb synthetisches Lacton, das aus einem Naturprodukt isoliert und weiterverarbeitet wird. Es ist ein voluminöses und wenig wasserlösliches Molekül, dessen physikochemische Eigenschaften ungewöhnlich sind für Umweltchemikalien. Neben den Studien zu den ökotoxikologischen Wirkmechanismen wurde im Rahmen von ERA-Pharm daher auch die Bioverfügbarkeit von Ivermectin erforscht. Aufgrund der ungewöhnlich tiefen Wasserlöslichkeit und vermuteter Kolloidbildung konnte die Verteilung in biologischen Membranen mit den üblichen Methoden jedoch nicht gemessen werden. Wir wendeten deshalb an der Eawag einen neuen Test zur Messung der Membranpermeabilität an («Pampa»: Parallel artificial membrane permeability assay). Pampa wurde ursprünglich von der pharmazeutischen Industrie für die Simulation der Aufnahme von Arzneimitteln im Magen-Darm-System entwickelt und wird von uns zurzeit für die Bewertung der Bioakkumulierbarkeit angepasst. Mit diesem Test konnten wir nachweisen, dass das Ivermectin-Molekül trotz seiner Grösse grundsätzlich membrangängig ist. Eine hohe molekulare Masse geht also nicht zwingend mit einer reduzierten Bioverfügbarkeit einher.

Ständiger Prozess

In der vorausschauenden Umweltrisikobewertung kommt der Modellierung eine zentrale Rolle zu, da die Stoffe ja noch nicht in die Umwelt gelangt sind. Ziel ist es, sowohl Stoffverhalten als auch die zu erwartenden Konzentrationen in der Umwelt oder ihr Potenzial für längerfristige schädliche Wirkungen vorherzusagen. Die geltenden Richtlinien schlagen die Verwendung eher einfacher, statischer Modelle für die Abschätzung der Exposition vor, die mit einem kleinen Satz gemessener Chemikaleigenschaften bereits ein Ergebnis liefern. Die diesen Modellen zugrunde liegenden Annahmen versuchen jeweils im Sinne des Vorsorgeprinzips den ungünstigsten Fall abzudecken, wobei nicht immer klar ist, wie dieser zu definieren ist. Die Beispiele aus der Eawag-Forschung zeigen, dass die Bewertungsschemata für Tierarzneimittel noch verbessert werden können und dass eine fundierte Umweltrisikobewertung ein dynamischer Prozess ist. Nicht nur die spezifischen Stoffeigenschaften, sondern auch die räumlich und zeitlich sehr inhomogenen Belastungssituationen könnten noch realistischer beurteilt werden. Das sollte auch bei Vorschriften auf der Anwenderseite einfließen. Wir sind in Kontakt mit den zuständigen Gremien bei der EMEA und der Lebensmittelsicherheitsbehörde EFSA³ und lassen die Resultate in die Revision der Richtlinien einfließen. ○ ○ ○

¹ In der Schweiz ist das Ausbringen von Klärschlamm seit 2003 teilweise und seit 2006 ganz verboten.

² EMEA: European Agency for the Evaluation of Medicinal Products.

³ EFSA: European Food Safety Authority.

⁴ VICH: International Cooperation on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Veterinary Products.

[1] VICH⁴ (2006): Environmental impact assessment for veterinary medicinal products – Phase II VICH GL 38. Final Guidance, London, UK.

[2] EMEA (2006): Guideline on environmental impact assessment for veterinary medicinal products in support of the VICH guidelines GL6 and GL38; EMEA/CVMP/ERA/418282/2005-CONSULTATION. London, UK.

[3] Escher B.I., Bramaz N., Richter M. (2007): Bioavailability, membrane-water partitioning and non-target modes of action in aquatic organisms of the parasiticides ivermectin, albendazole and morantel. Environ. Tox. Chem. (submitted).

[4] Larsbo M., Jarvis N. (2003): MACRO 5.0. A model of water flow and solute transport in macroporous soil. Technical description. Emergo 2003/6; Swedish Univ. of Agric. Sci, Dep. of Soil Sci, Uppsala, Sweden.

[5] Schneider M.K., Stamm C., Fenner K. (2007): Selecting scenarios to assess exposure of surface waters to veterinary medicines in Europe. Environ. Sci. Technol. (in print).

Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser

Das Grundwasser ist die wichtigste Trinkwasserressource in der Schweiz. Es besteht deshalb grosses Interesse daran, die Grundwasservorkommen möglichst frei zu halten von Schadstoffen. Vor allem soll eine Beeinträchtigung durch Stoffe vermieden werden, die spezifisch auf Lebewesen wirken – wie Arzneimittel oder Pestizide. Irene Hanke, Heinz Singer, Christa S. McArdell

Rund 80% des Schweizer Trinkwassers werden aus Grundwasser gewonnen. Zur Qualitätsüberwachung wird diese Ressource im Rahmen des Messnetzes NAQUA¹ an zahlreichen Messstellen untersucht. Mit den bestehenden Kampagnen wird zwar eine grosse Anzahl an Pestiziden regelmässig erfasst. Es fehlen jedoch Messungen von einigen besonders mobilen Pestizid-Abbauprodukten. Ebensovien existieren systematische Grundwassermessungen für Arzneimittel aus der Human- und Veterinärmedizin, die bereits in Oberflächengewässern nachgewiesen wurden.

Transport ins Grundwasser möglich

Die Wirkstoffe aus Pestiziden können von den behandelten Flächen und Materialien mit dem Regen durch oberflächige Abschwemmung oder über Drainagen in Gewässer gelangen sowie durch den Boden ins Grundwasser transportiert werden. Arzneimittel werden nach der Einnahme unverändert oder als Abbauprodukte ausgeschieden. Humanarzneimittel gelangen mit dem Abwasser in die Kläranlagen. Die Abwasserreinigung kann die Stoffe aber nur teilweise eliminieren, so dass sie die Gewässer erreichen. Aus defekten

Abwasserleitungen oder durch Infiltration aus belasteten Oberflächengewässern können die Substanzen schliesslich auch ins Grundwasser gelangen.

Abbauprodukte tragen zur Gewässerbelastung bei

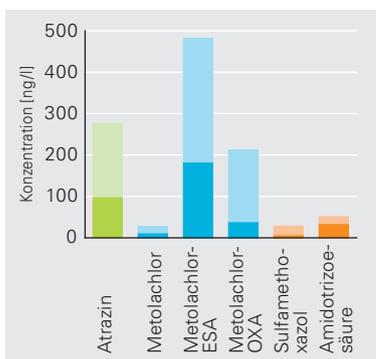
Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt wurden in Zusammenarbeit mit dem Amt für Lebensmittelkontrolle und Umweltschutz des Kantons Schaffhausen sowie dem Technologiezentrum Wasser im deutschen Karlsruhe Proben auf Pestizide und Arzneimittel untersucht. Für die routinemässig untersuchten Pestizide waren die gefundenen Konzentrationen vergleichbar mit denjenigen aus den NAQUA-Messkampagnen. Insgesamt entfielen rund drei Viertel der Befunde auf die Triazin-Wirkstoffe und deren Abbauprodukte. An 10% der untersuchten Messstellen überschritt die Konzentration mindestens einer der analysierten Verbindungen den Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung von 100 ng/l. Die beiden erstmals analysierten Abbauprodukte des Pestizids Metolachlor wiesen Maximalkonzentrationen von 480 ng/l (Metolachlor-ESA) und 210 ng/l (Metolachlor-OXA) auf. Die Abbauprodukte traten insgesamt häufiger und in höheren Konzentrationen auf als die Ausgangsverbindung. Obwohl Abbauprodukte toxiologisch meist weniger problematisch sind, beunruhigt ihr Auftreten, da sie oftmals mobiler sind als die ausgebrachten Pestizide und deshalb weitertransportiert werden können.

Anforderungswert auch für Arzneimittel

Neben den Pestiziden wurde eine breite Palette an Arzneimitteln untersucht. Von 77 Wirkstoffen wurden 8

im Grundwasser gefunden, darunter vier Antibiotika, zwei Röntgenkontrastmittel, ein Antiepileptikum sowie ein Abbauprodukt eines Lipidsenkens. Die Konzentrationen lagen zwischen 10 und 90 ng/l und damit im Schnitt tiefer als diejenigen der Pestizide. Die höchsten Konzentrationen wurden für die Röntgenkontrastmittel Amidotrizoesäure und Iopamidol gemessen. Das am häufigsten auftretende Arzneimittel war das Antibiotikum Sulfamethoxazol, das an fast jeder fünften Stelle gefunden wurde. Da diese Substanz ausschliesslich in der Humanmedizin eingesetzt wird, weist ihr Vorkommen darauf hin, dass einige der untersuchten Grundwasservorkommen durch Abwasser oder abwasserbelastetes Oberflächenwasser beeinflusst werden. Unsere Messungen zeigen, dass für eine wirkungsvolle Überwachung des Grundwassers neben den Pestiziden auch deren Abbauprodukte berücksichtigt werden müssen. Zudem würde die Aufnahme ausgewählter Arzneimittel ins Routineprogramm helfen, den Eintrag aus der Siedlung besser bewerten zu können. Sowohl für Pestizid-Abbauprodukte wie auch Arzneimittel sollten Anforderungswerte festgelegt werden. ○ ○ ○

Konzentrationen für ausgewählte Pestizide und Arzneimittel in den untersuchten Grundwasserproben. In der Gewässerschutzverordnung ist für Grundwasser, das als Trinkwasser genutzt wird oder dafür vorgesehen ist, ein Anforderungswert für Pestizide von maximal 100 ng/l vorgeschrieben.



NAQUA: Nationales Netz zur Beobachtung der Grundwasserqualität.

NAQUA – Grundwasserqualität in der Schweiz 2002/2003. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft/Bundesamt für Wasser und Geologie (Hrsg.); Bern 2004.

Hanke I., Singer H., McArdell C., Traber D., Brennwald M.S., Herold T., Mural R., Oechslin R., Kipfer R. (2007): Arzneimittel und Pestizide im Grundwasser. Gas, Wasser, Abwasser (GWA), 2007 (3), S. 187–196.

Die Suche nach unbekanntem Stoffen

Die Suche nach unbekanntem Verbindungen, die in den Gewässern trotz kleinster Konzentrationen Effekte verursachen, ist aufwändig. Und je empfindlicher die Analytik für diese Stoffe sein muss, desto weniger Zielsubstanzen können gleichzeitig gemessen werden. Hoch auflösende Massenspektrometer erlauben nun, die Elementarzusammensetzung von unbekanntem Stoffen zu bestimmen und Aussagen zu ihrer Struktur zu machen. Marc J.-F. Suter, Christiane Vögeli, Anja Liedtke

Gonadenveränderungen in Felchen vom Thunersee werden auf kantonaler und nationaler Ebene untersucht. Einzigartig ist dabei die Art und Häufigkeit der beobachteten Deformationen. Im Verdacht standen neben genetischen und infektiösen Ursachen schon bald die im See entsorgten Munitionsbestände, aber auch die beim Vortrieb des Lötschbergbasistunnels eingesetzten Bauchemikalien. Doch beides konnte bisher nicht als Ursache für die beobachteten Effekte bestätigt werden.

Nicht die Bekannten

Umwelthormone, welche die Geschlechtsentwicklung beeinflussen, bleiben eine mögliche Erklärung für die beobachteten Effekte. Deshalb wurden Sediment- und Planktonproben auf ihre hormonelle Wirkung hin getestet. Wässrige Extrakte von Plankton enthalten in der Tat östrogene Verbindungen. Ob es sich dabei um natürliche Stoffe handelt oder um Chemikalien, die über die Nahrungskette in den Fisch gelangen, ist Teil der Untersuchungen. Mit chemischer Analytik von fraktionierten Proben konnte gezeigt werden, dass nicht die Steroidhormone Östron, Östradiol und Ethinylöstradiol für die östrogene Aktivität verantwortlich sind. Diese muss somit durch andere, noch unbekanntem Verbindungen verursacht werden.

Enges analytisches Fenster

Versucht man nun, die nur in den Thunerseeeproben, im Brienzensee aber nicht vorhandenen Verbindungen zu identifizieren, sind rasch die Limiten der Spurenanalytik erreicht. Um beispielsweise die Steroidhormone mit maximaler Empfindlichkeit zu bestimmen, muss die Analytik so spezifisch sein, dass nur wenige Zielsubstanzen gleichzeitig gemessen wer-

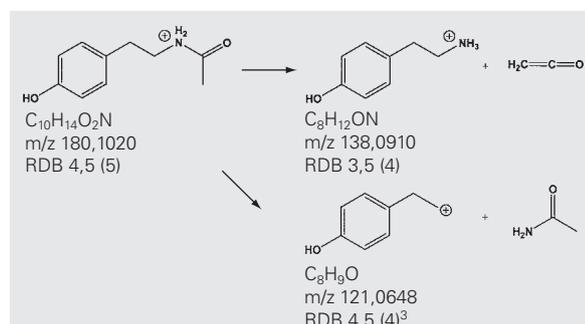
den können, man spricht von einem engen analytischen Fenster. So ist eine Identifikation unbekannter Verbindungen bei tiefen Konzentrationen praktisch unmöglich. Hier helfen die Experimente mit dem neuesten Massenspektrometer der Eawag, einer Ionenfalle mit elektrostatischem Feld (Orbitrap). Dieses erlaubt, gleichzeitig hoch aufgelöste Spektren aufzunehmen sowie Fragmente ausgewählter Ionen zu analysieren.

So wurde im Plankton vom Thunersee eine Verbindung gefunden, die im Brienzensee nicht vorkommt. Sie bildet ein positives Ion der Masse 180,1020. Ein herkömmliches Massenspektrometer liefert im besten Fall eine Messgenauigkeit von $\pm 0,2$, womit für die Masse 180,1 knapp 1000 Summenformeln in Frage kommen, wenn die Elemente H, C, N, O, F, Si, P, S und I und die Stickstoffregel¹ berücksichtigt werden. Cl und Br konnten aufgrund des Isotopenmusters von vornherein ausgeschlossen werden. Mit der hoch auflösenden Orbitrap mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0004$ oder 2 ppm reduzieren sich die Möglichkeiten auf $C_{10}H_{14}O_2N$ und $C_2H_{14}ON^{28}Si$. Stoffe, die beim Östrogenrezeptor ein Signal aktivieren, weisen typischerweise eine phenolische Gruppe auf, womit die erste Variante deutlich wahrscheinlicher wird. Die Verbindung weist Ähnlichkeiten mit Nonylphenolisomeren auf und könnte daher durchaus östrogene Wirkung haben. Da sie kommerziell nicht erhältlich ist, konnte dies bisher leider nicht getestet werden. ○ ○ ○

¹ Für ein Ion M^+H^+ bedeutet eine gerade Masse eine ungerade Anzahl Stickstoffatome.

m/z 180,1020 Summenformel	RDB ²	theoretische Masse	Differenz [mmu]	Differenz [ppm]
$C_{10}H_{14}O_2N$	4,5	180,1019	0,095	0,53
$C_2H_{14}ON^{28}Si$	0,5	180,1024	-0,363	-2,02
$C_7H_{16}N_1F_2^{28}Si$	0,5	180,1015	0,539	2,99
$C_3H_{14}N_7^{32}S$	0,5	180,1026	-0,592	-3,29
$C_7H_{15}O_3NF$	0,5	180,1030	-1,048	-5,82
$C_4H_{15}ON_5P$	0,5	180,1009	1,125	6,25
$C_6H_{19}NF^{28}Si_2$	-0,5	180,1035	-1,461	-8,11
$C_3H_{11}ON_7F$	1,5	180,1004	1,637	9,09
$C_8H_{13}NF_3$	1,5	180,0995	2,539	14,10
$C_6H_{10}N_7$	5,5	180,0992	2,78	15,44

Die zehn Summenformeln, die den gewählten Kriterien entsprechen und maximal ± 3 Millimasseneinheiten (mmu) von der experimentell bestimmten Masse abweichen. ² Ring- und Doppelbindungsäquivalente; die halben Zahlen stammen vom zusätzlichen Proton H^+ , das mit $-0,5$ zu Buche schlägt, sodass 4,5 RDB tatsächlich 5 Äquivalenten entsprechen.



Durch Kollisionsaktivierung entstehen aus dem Ion 180,1020 die Fragmente 138,0910 und 121,0648. Mit der exakten Masse lassen sich die Summenformeln der Fragmente wieder einschränken. Das links dargestellte para-substituierte Alkylphenol entspricht der wahrscheinlichsten Summenformel sowohl für die Ausgangsverbindung als auch für die Fragmentation. Werte in Klammern entsprechen dem unprotonierten Molekül. ³ Die neutrale Form des Carbokations benötigt ein zusätzliches H^+ .

Ochsenbein U.: Deformierte Geschlechtsorgane bei Thunersee-felchen. GSA Informationsbulletin 1/2003, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kt. Bern.

NRP50 – Endocrine Disruptors: Relevance to Humans, Animals and Ecosystems; Project 23: Gonad malformations in white fish (*Coregonus lavaretus*) in Lake Thun: are they induced by endocrine disruptors?

β -Peptide: Neue Pharmazeutika oder zukünftige Schadstoffe?

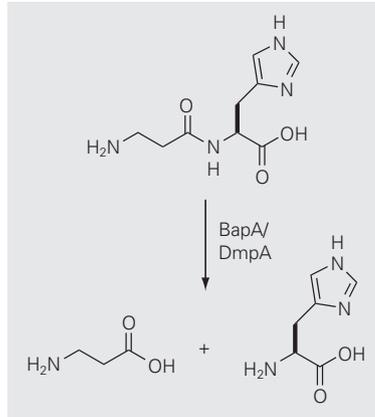
β -Peptide sind für die Pharmazie von Interesse, weil sie unverändert an den anvisierten Wirkort im Körper gelangen können. Dank ihrer Stabilität können sie aber auch zum ökotoxikologischen Problem werden, da sie in der Umwelt eher angereichert statt abgebaut werden. Wir konnten nun nachweisen, dass spezielle Enzyme aus Bakterienstämmen in der Lage sind, β -Peptide abzubauen. Birgit Geueke, Tobias Heck und Hans-Peter E. Kohler

β -Peptide sind chemische Verbindungen, die aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeit zu natürlichen α -Peptiden und ihrer sehr hohen Stabilität gegenüber enzymatischen Abbauprozessen ein grosses Potenzial bei der Entwicklung neuer Pharmazeutika aufweisen. Eine hohe biologische Stabilität ist bei Medikamenten notwendig, damit sie ihren Wirkort im Organismus erreichen können, bevor sie von körpereigenen Enzymen abgebaut werden. Dieselbe Eigenschaft kann jedoch von grossem Nachteil sein, da sich stabile bioaktive Substanzen in der Umwelt anreichern können.

Wir untersuchen Bakterienstämme aus unterschiedlichen Habitaten, die in der Lage sind, β -Peptide umzuwandeln und abzubauen. Diese Mikroorganismen stellen die ersten biologischen Systeme dar, die eine enzymatische Ausstattung zum Abbau von β -Peptiden besitzen. Wir konnten nachweisen, dass diese Bakterien der bis vor kurzem unbekannten Gattung *Sphingosinicella* angehören. Deren exklusives Merkmal besteht darin, β -Peptide abzubauen und auf ihnen als einziger Kohlenstoff- und Stickstoffquelle zu wachsen.



Wachstum der Bakterien *Sphingosinicella xenopeptidilytica* auf einer Nährstoffplatte.



Enzymatische Spaltung des gemischten β,α -Dipeptids Carnosin durch BapA bzw. DmpA in die Aminosäuren β -Homoglycine und α -Histidin.

Einzelnes Enzym als Katalysator

Wir konnten belegen, dass der Abbau der β -Peptide durch ein einzelnes Enzym (BapA) katalysiert wird, das β -Aminosäuren vom Aminoterminus des β -Peptids abspaltet. Es handelt sich dabei um ein Enzym, das strukturelle Ähnlichkeiten zur Aminopeptidase DmpA aus der Gattung *Ochrobactrum* aufweist. In Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für Organische Chemie an der ETH Zürich (Gruppe von Prof. Dieter Seebach) haben wir diese Enzyme biochemisch charakterisiert, um Rückschlüsse auf die physiologische Funktion dieser Peptidasen ziehen zu können. Demnach ist BapA in der Lage, ein breites Spektrum an β -Peptiden zu spalten, α -Peptide hingegen werden nicht als Substrate akzeptiert. Im Gegensatz dazu kann DmpA neben β -Peptiden auch α -Peptide abspalten. Die genaue Beschaffenheit der Seitenkette der N-terminalen Aminosäure ist aber von entscheidender Bedeutung für

eine erfolgreiche Spaltung durch DmpA.

Enzyme biotechnologisch nutzen

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die hohe Stabilität von β -Peptiden in der Natur keineswegs unbeschränkt ist. Allerdings wirft die Tatsache, dass reine β -Peptide, wie wir sie für unsere Abbauprobe verwendet haben, nicht in der Natur vorkommen, neue Fragen auf. Unsere künftigen Forschungsarbeiten sollen daher klären, welche natürlichen Funktionen den Enzymen beim Abbau von β -Peptiden zukommen und wie diese Abbauege in der Umwelt verbreitet sind. Einen Schwerpunkt bilden wird auch die biotechnologische Anwendung der neuen Enzyme. ○ ○ ○

Geueke B., Namoto K., Seebach D., Kohler H.P.E. (2005): A novel β -peptidyl aminopeptidase (BapA) from strain 3-2W4 cleaves peptide bonds of synthetic β -tri- and β -dipeptides. *J Bacteriol* 187, 5910–5917.

Geueke B., Heck T., Limbach M., Nesatyy V., Seebach D., Kohler H.P.E. (2006): Bacterial β -peptidyl aminopeptidases with unique substrate specificities for β - and mixed α,β -oligopeptides. *FEBS Journal* 273, 5261–6272.

Heck T., Limbach M., Geueke B., Zacharias M., Gardiner J., Kohler H.P.E., Seebach D. (2006): Enzymatic degradation of β - and mixed α,β -oligopeptides. *Chem Biodiv* 3, 1325–1348.

Geueke B., Busse H.J., Fleischmann T., Kämpfer P., Kohler H.P.E. (2007): Description of *Sphingosinicella xenopeptidilytica* sp. nov., a beta-peptide-degrading species, and emended descriptions of the genus *Sphingosinicella* and the species *Sphingosinicella microcystinivorans*. *Int J Syst Evol Microbiol* 57, 107–113.

Biozide und Additive in Gebäudehüllen: ein Risiko für die Gewässer?

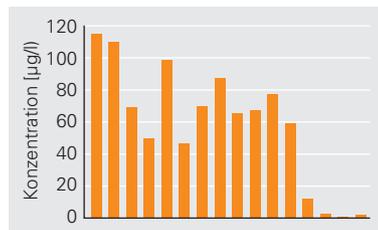
Mit dem Niederschlag können problematische Stoffe aus Fassaden- und Dachmaterialien ausgewaschen werden und in die Gewässer gelangen. Im Rahmen des Projekts URBIC werden die Freisetzung von Bioziden und Additiven sowie deren Transportverhalten in der Siedlungsentwässerung erstmals systematisch untersucht. Michael Burkhardt, Thomas Kupper, Jakob Eugster, Luca Rossi, Markus Boller

Das Auftreten von Pilz- und Algenwachstum auf Fassadenoberflächen hat sich in den letzten Jahren als Folge der verbesserten Wärmedämmung (stärkere Kondenswasserbildung) und veränderten architektonischen Trends (schmale oder fehlende Dachvorsprünge) erhöht. Als Gegenmassnahme werden in erster Linie Biozide eingesetzt. In Dachabdichtungen aus Bitumen sollen Mittel auf Basis von Mecoprop das Eindringen von Pflanzenwurzeln verhindern. Zudem können Kunststoffdachbahnen verschiedener Materialgruppen (z.B. PVC, FPO, EPDM) Biozide, UV-Filter, Flammschutzmittel, Antioxidantien und Weichmacher enthalten.

Allen Wirkstoffen wie z.B. Diuron, Carbendazim, Mecoprop ist gemeinsam, dass sie nur in der wässrigen Phase wirksam sind. Damit können sie mit dem Regen ausgewaschen werden und in die Gewässer gelangen.

Wirkstoffe aus Gebäudehüllen nachweisbar

Der Stofffluss von Fassaden und Flachdächern via Regenwasser ins Gewässer ist Gegenstand des lau-



Auswaschung von drei Wurzelschutzmitteln aus 16 verschiedenen Bitumenbahnen. Die Produkte weisen unterschiedliche Anwendungskonzentrationen und Materialeigenschaften (Rezeptur, Oberflächenbeschichtung, Dicke) auf.

fenden Projekts URBIC. Ergänzend dazu werden Untersuchungen im Labor durchgeführt. Derzeit werden an einem Standort in Volketswil (ZH) der Fassadenabfluss von neuen und gealterten Fassaden sowie das Regenwasser im Trennkanal untersucht. Erste Daten zeigen, dass Wirkstoffe wie S-Triazine (Terbutryn, Irgarol 1051), Carbendazim oder Mecoprop im Regenwasser auftreten und bis zur Einleitung ins Gewässer verfolgt werden können.

In Laborversuchen zur Auswaschung von Additiven aus Bitumenbahnen schneiden neuere Produkte besser ab als Materialien, wie sie noch vor zehn Jahren produziert wurden. Die gemessenen Konzentrationen unterscheiden sich um bis das 100-Fache. Das deutet darauf hin, dass optimierte Produktionsrezepturen zu einer erheblichen Reduzierung der Belastung



Probenahmen im Regenwasserkanal einer neuen Überbauung in Volketswil.

des Dachabwassers und der Gewässer beitragen können. Unser Projekt URBIC will weitere Grundlagen zur Materialabhängigkeit der Gewässerbelastung und den umweltrelevanten Prozessen zur Verfügung stellen. Denn für einen effektiven Gewässerschutz stellen Massnahmen an der Quelle den nachhaltigsten Lösungsansatz dar.

Zusammenarbeit auch mit Herstellern

Das Projekt URBIC wird bis Mitte 2008 fortgesetzt. Bezüglich Methodik und Analytik betreten die Eawag-Abteilungen für Siedlungswasserwirtschaft und Umweltchemie zusammen mit den Projektpartnern der Empa und weiteren Institutionen in vielen Punkten Neuland. Eine Besonderheit des Projekts liegt darin, dass zahlreiche Hersteller und Verbände eingebunden sind. Dies ist eine grosse Herausforderung, sollen doch die erarbeiteten Kenntnisse Entscheidungsgrundlage sein für weitere Massnahmen seitens der Hersteller und der Behörden. Das Projekt trägt dazu bei, die Bedeutung bisher kaum beachteter Stoffeinträge aus Siedlungen in die Gewässer besser zu verstehen und die Gewässerbelastung zu minimieren. ○ ○ ○

URBIC wird unterstützt von Eawag, Empa, BAFU, AWEL Zürich, uwe Luzern.

Stichwort Additive

Additive sind Zusatzstoffe, die Produkten in geringen Mengen zugesetzt werden, um bestimmte Eigenschaften zu erreichen oder zu verbessern. Dieser Sammelbegriff umfasst z. B. Antioxidantien, UV-Filter und Flammschutzmittel. Auch Biozide gehören zu den Additiven, unterliegen aufgrund ihrer spezifischen Wirkung gegen Organismen aber der Biozidproduktverordnung (VBP). Diese reguliert das Zulassungsverfahren, den Einsatz in Produkten und die Produktdeklaration sehr detailliert. Die Schweizer VBP ist seit 2005 in Kraft und deckt sich mit der Biozidprodukteverordnung der EU.

www.eawag.ch/urbic

Burkhardt M., Kupper T., Rossi L., Chèvre N., Singer H., Alder A., Boller M. (2005): Biozide in Fassadenbeschichtungen: Auswaschung mit Folgen. COVISS 2 (7), 6–9.
 Burkhardt M., Kupper T., Rossi L., Boller M., Hean S., Haag R., Kohler M., Mattrel P., Schmid P. (2006): Umweltrelevante Stoffe in Flachdachabdichtungen. SIA Tec21, 31–32, 27.
 Burkhardt M., Kupper T., Rossi L., Seehafer P., Boller M. (2006): Einsatz von Bioziden in Fassaden – Ergebnis einer Umfrage beim SMGV. *Applica* 12, 8–14.

Glyphosat – Unkrautvertilgungsmittel im Gewässer

Glyphosat ist weltweit das mit Abstand am häufigsten eingesetzte Pestizid, auch in der Schweiz. Gemessen an dessen Bedeutung gibt es aber verhältnismässig wenige Daten über das Vorkommen in der aquatischen Umwelt. Grund dafür ist der schwierige analytische Nachweis. Die Eawag hat nun eine zuverlässige Nachweismethode für Glyphosat und dessen Abbauprodukt AMPA in wässrigen Proben entwickelt und an ersten Umweltproben angewendet. Irene Hanke, Heinz Singer

Glyphosat ist ein Unkrautvertilgungsmittel mit universeller Wirkung sowie einer geringen Human- und Umwelttoxizität. Es gehört weltweit und auch in der Schweiz zu den am häufigsten eingesetzten Pestiziden. In den letzten Jahren stieg der Verbrauch zudem weltweit stark an, bedingt durch den vermehrten Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen wie Mais oder Soja, die gegen Glyphosat resistent sind. In der Schweiz werden zurzeit etwa 190 t Glyphosat pro Jahr verkauft. Dies entspricht etwa 14% der gesamten eingesetzten Pestizidmenge. Ein Grossteil wird als Totalherbizid von der Landwirtschaft ausgebracht. Etwa 4 t werden von der SBB zur Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen eingesetzt (siehe Beitrag S. 14). Ein unbekannter Anteil wird als Unkrautvertilgungsmittel von öffentlichen Institutionen, Industriebetrieben und Privaten verwendet. Wegen der starken Sorption an die mineralischen Bestandteile des Bodens und der guten biologischen Abbaubarkeit wird davon ausgegangen, dass Glyphosat trotz der gu-

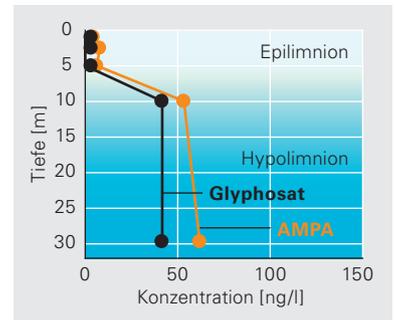
ten Wasserlöslichkeit nur zu einem geringen Teil ins Oberflächen- oder Grundwasser abgetragen wird.

Schwieriger Nachweis

Als kleines, polares, zwitterionisches und stark sorbierendes Molekül mit der Neigung zur Komplexbildung sind Glyphosat und sein Hauptabbauprodukt AMPA mit den heute zur Verfügung stehenden Analysetechniken in Spurenkonzentrationen nur schwer zuverlässig nachweisbar. Wir haben an der Eawag daher eine Methode gewählt, bei welcher die Analyten zunächst in wässriger Lösung mit Hilfe des Derivatisierungsreagenzes FMOC-Cl zu einem Produkt umgesetzt werden, welches eine effiziente Aufkonzentrierung aus der Wasserprobe, eine unproblematische flüssigchromatographische Trennung und eine nachweisstarke Detektion mit Massenspektrometrie erlaubt. Weiterentwicklungen bei dieser an sich bekannten Methodik waren vor allem bei der Optimierung der Derivatisierungsausbeute und -geschwindigkeit, bei der Abtrennung von störenden Derivatisierungsnebenprodukten sowie bei der Aufspaltung von Metall-Glyphosat-Komplexen notwendig.

Messungen in der Umwelt

Mit Proben aus verschiedenen Seen, Fließgewässern und Grundwasser konnten die Robustheit der Methode gezeigt und erste interessante Umweltdaten erhoben werden. Keine der untersuchten Grundwasserproben enthielt Glyphosat oder AMPA in nachweisbarer Konzentration (<10 ng/l). Demgegenüber wurden in allen untersuchten Seen und Fließgewässern Glypho-



Tiefenverteilung der Glyphosat- und AMPA-Konzentration im Greifensee im August 2006. Im Tiefenwasser (Hypolimnion) können Glyphosat und AMPA nachgewiesen werden.

sat und AMPA detektiert. In den Zuflüssen des Greifensees wurden in den entnommenen Stichproben bis zu 390 ng/l Glyphosat und 180 ng/l AMPA nachgewiesen. Der Rhein bei Weil enthielt etwa 30 ng/l Glyphosat und 50 ng/l AMPA. Diese Konzentrationen bewegen sich für das als wenig mobil geltende Glyphosat damit in einem ähnlichen Konzentrationsbereich wie das häufig eingesetzte und mobilere Atrazin. Wie das Tiefenprofil der Konzentration im Greifensee zeigt, scheinen Glyphosat und AMPA in der obersten Seewasserschicht (Epilimnion) einem Abbau zu unterliegen. Mit der neu entwickelten Analysemethode sollen jetzt mögliche Quellen, Eintragspfade und der Abbau des Glyphosats näher untersucht werden. ○ ○ ○

Hanke I., Singer H., Hollender J. (2006): Quantification of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Water using Solid Phase Extraction-Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. Proceedings of the IAEAC European Conference on Pesticides, November 26–29, Almeria, Spain.

Obwohl Glyphosat als wenig mobil gilt, massen wir ähnlich hohe Konzentrationen wie von Atrazin.

pflanzen wie Mais oder Soja, die gegen Glyphosat resistent sind. In der Schweiz werden zurzeit etwa 190 t Glyphosat pro Jahr verkauft. Dies entspricht etwa 14% der gesamten eingesetzten Pestizidmenge. Ein Grossteil wird als Totalherbizid von der Landwirtschaft ausgebracht. Etwa 4 t werden von der SBB zur Vegetationskontrolle auf Bahnanlagen eingesetzt (siehe Beitrag S. 14). Ein unbekannter Anteil wird als Unkrautvertilgungsmittel von öffentlichen Institutionen, Industriebetrieben und Privaten verwendet. Wegen der starken Sorption an die mineralischen Bestandteile des Bodens und der guten biologischen Abbaubarkeit wird davon ausgegangen, dass Glyphosat trotz der gu-



Analyse der aufkonzentrierten Wasserproben im Massenspektrometer.

Wie gelangt Antimon in das Grundwasser?

In der Nähe von Kugelfängen bei Schiessanlagen wurden erhöhte Antimonkonzentrationen im Grundwasser gemessen. Doch bisher war unklar, welche Prozesse die Mobilität des toxischen Halbmetalls beeinflussen. Unser Projekt zeigt, dass dabei Eisen eine wichtige Rolle spielt. Eine neu entwickelte Methode erlaubt, die Verlagerung von Antimon im Boden einfacher zu beobachten. Ann-Kathrin Leuz, Alexander Englert, Hermann Mönch, Annette Johnson

Spätestens wenn eine Schiessanlage stillgelegt wird, stellt sich die Frage, ob eine Bodensanierung beim Kugelfang nötig ist. Denn Schwermetalle aus der Munition, wie zum Beispiel Antimon (Sb), können ein Risiko für das Grundwasser darstellen. Antimon wird in Bleimunition als Härter eingesetzt und hat ähnliche chemische und toxische Eigenschaften wie Arsen. Es wird aber auch zunehmend in industriellen Produkten verwendet, zum Beispiel in Flammenschutzmitteln für Plastik, Bremsbelägen sowie Bleilegierungen für Autobatterien. Gemäss einer Stoffflussanalyse der Eawag gelangt das Element in der Schweiz hauptsächlich durch Bremsabrieb und aus Munition in die Umwelt [1].

Oxidation fördert Mobilität

Rund 400 Tonnen Bleikugeln werden pro Jahr in der Schweiz verschossen. Diese enthalten 2–5 Gewichtsprozent metallisches Antimon [Sb(0)], das durch die Verwitterung der Kugeln freigesetzt wird. Mobil wird

Sb(0) im Boden erst durch die Oxidation zu Sb(III) und Sb(V). Dabei sind Sb(V)-Verbindungen besser wasserlöslich und binden schlechter an Bodenpartikel als Sb(III)-Verbindungen. Oxidationsprozesse konnten im Kugelfang mit spektroskopischen Methoden nachgewiesen werden. Diese sind wahrscheinlich pH-abhängig, da in einem sauren, organischen Boden vor allem Sb(0) und in einem neutralen Boden Sb(V) gebunden an Eisenoxide vorkommt [2, 3].

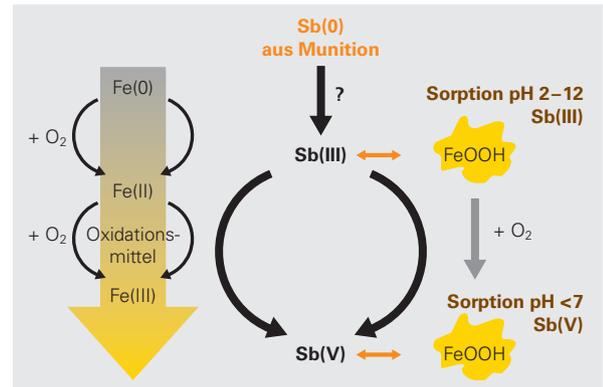
Laborexperimente zeigen, dass Eisen eine wichtige Rolle spielt bezüglich Oxidation aber auch Bindung von Sb. Einerseits oxidiert Sb(III) im Zuge der Eisenkorrosion im Mantel der Kugel, oder wenn Sb(III) an Eisenoxide gebunden ist. Andererseits binden Eisenoxide Sb, wobei Sb(V)-Verbindungen oberhalb von pH 7 nur noch teilweise zurückgehalten werden [4].

Vereinfachte Überwachung

Um die Oxidationsprozesse im Boden beobachten und deren Einflussfaktoren bestimmen zu können, ist eine Methode notwendig, mit der niedrige Antimonkonzentrationen gemessen und viele Proben kostengünstig bestimmt werden können. Das ist mit den üblicherweise angewendeten, aufwändigen spektroskopischen Methoden nicht möglich. Wir haben daher eine einfache Extraktionsmethode entwickelt, die zwischen Sb(0) + Sb(III)- und Sb(V)-Verbindungen unterscheiden kann. Erste Ergebnisse zeigen ein mit der Tiefe zunehmendes Verhältnis von Sb(V) zu Sb(0) + Sb(III). Das deutet darauf hin, dass die Sb(V)-Spezies stärker verlagert wird [5].

Filtersysteme in Prüfung

Messungen weisen unter Schiessanlagen vereinzelt erhöhte Antimonwerte im Grundwasser nach. Dank



Wichtige Oxidationsreaktionen von Antimon mit Eisen. Oxidationszustände im Kugelfang sind sowohl Sb(0) als auch Sb(V), wohingegen im Sickerwasser über 90% von Sb als Sb(V) vorkommen.

dem vertieften Prozessverständnis und der vereinfachten Analytik kann nun besser vorhergesagt werden, welche Standorte genauer überwacht werden müssen. Zurzeit prüft die Eawag ausserdem in Zusammenarbeit mit der Hochschule Rapperswil, welche Filtersysteme zur Entfernung von Antimon und Blei aus dem Sickerwasser von Kugelfängen geeignet sind. ○ ○ ○



Entnahme der Bodenproben und Tiefenprofile im Kugelfang eines Schiessplatzes in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich. Kleines Bild: Verschossene Gewehr-kugel.

- [1] Mathys R., Dittmar J., Johnson C.A. (2007): Antimony in Switzerland: a Substance Flow Analysis. Bericht für BAFU (im Druck).
- [2] Scheinost A.C., Rossberg A., Vantelon D., Xifra I.O., Kretschmar R., Leuz A.-K., Funke H., Johnson C.A. (2006): Quantitative Antimony Speciation in Shooting-Range Soils by EXAFS Spectroscopy. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 70, 3299–3312.
- [3] Eichinger F. (2005): Geochemistry and Mineralogy of Antimony in Soils of Shooting Ranges. Diploma Thesis, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.
- [4] Leuz A.-K. (2006): Redox reactions of antimony in the aquatic and terrestrial environment. Ph.D. Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zürich.
- [5] Englert A. (2006): Untersuchung der Antimonspeziesierung in Kugelfängen von Schiessanlagen mit nasschemischen Extraktionen. Diploma Thesis, Fachhochschule Weihenstephan/Triesdorf.

Fluoridentfernung in Entwicklungsländern

Erhöhte Fluoridaufnahme führt zu Fluorose, einer unheilbaren Krankheit. Sie kann nur präventiv, vor allem mit Trinkwasseraufbereitung bekämpft werden. In Zusammenarbeit mit der kenianischen Organisation «Catholic Diocese of Nakuru» (CDN) erforschen wir alternative Aufbereitungsmaterialien und fördern die Anwendung einfacher und effizienter Knochenkohlefilter. Kim Müller, Hillary Korir¹, Annette Johnson, Regula Meierhofer und Martin Wegelin

Fluorid in kleinen Mengen schützt gegen Karies und stärkt die Knochen. In vielen Gebieten jedoch führt der Konsum von Grundwasser mit erhöhter Fluoridkonzentration aus natürlichen Quellen zu Fluoroseerkrankungen. Die Hauptmerkmale dieser Krankheit sind Zahnverfärbungen und verminderte Zahnfestigkeit, Knochenverformungen und erhöhte Knochenbrüchigkeit. Nach Schätzungen der Unesco [1] leben weltweit mehr als 200 Mio. Menschen in solchen Risikogebieten.

Effiziente Knochenkohle

CDN arbeitet bereits seit acht Jahren an der wirksamen Fluoridentfernung mit Knochenkohle. Obwohl die Anwendung dieser Trinkwasseraufbereitung relativ einfach ist, beansprucht die Produktion hochwertiger Knochenkohle grosse Erfahrung. Denn Temperatur, Sauerstoffgehalt und Dauer des Verkohlungsprozesses

von Tierknochen haben einen erheblichen Einfluss auf die Qualität des Endprodukts. CDN hat in den vergangenen Jahren rund 900 Haushaltfilter und über 70 Filter für Gemeinden produziert und verkauft. Dank der Unterstützung durch die Eawag konnten die wertvollen Erfahrungen von CDN zur Defluoridierung erstmals analysiert und dokumentiert werden. Eine gemeinsame Untersuchung zur Wirksamkeit und Anwenderfreundlichkeit von Haushaltfiltern hat gezeigt, dass frische Knochenkohle zwar effizient Fluorid adsorbieren kann, gesättigtes Filtermaterial jedoch oft nicht ausgewechselt wird (Abbildung). Um die Nachhaltigkeit dieser Art der Trinkwasseraufbereitung zu garantieren, müssen deshalb nebst technischer Optimierung auch soziokulturelle und anwenderspezifische Faktoren miteinbezogen werden. Die Analyseergebnisse wurden an einem Workshop vorgestellt und diskutiert. Teilnehmende waren Fluoridspezialisten und Interessierte aus Äthiopien, Tansania, Kenia und der Schweiz.

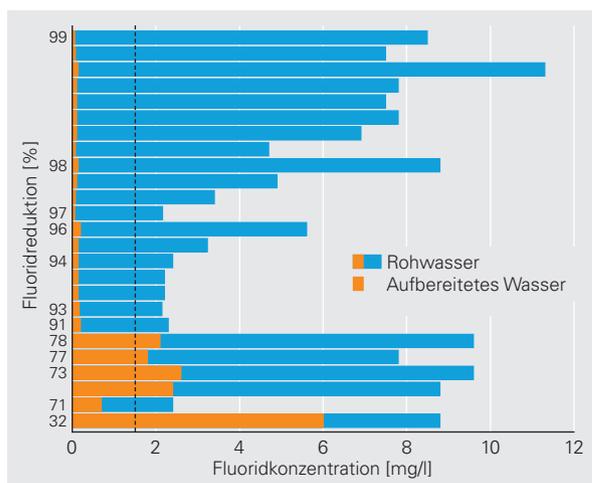
Nicht überall akzeptiert

Forschungsbedarf besteht vor allem im Verständnis und bei der Optimierung der Entfernungsmechanismen einer neueren Aufbereitungsmethode, bei der Fluorid durch Zugabe von Kalzium und Phosphat aus dem Trinkwasser ausgefällt wird. Um eine tägliche Chemikaliengabe zu vermeiden, hat CDN Pellets entwickelt, welche sich auflösen und die erforderlichen Stoffe langsam freisetzen. Zudem untersuchen wir die Synthese und die Fluoridentfernungseigen-



Feedback einer Gemeinde zu ihren Erfahrungen mit der Defluoridierung im Rahmen des Workshops. Der Filter befindet sich links im Hintergrund.

schaften von synthetischem Apatit, einem Kalziumphosphatmineral. Denn aufbereitete Tierknochen werden aufgrund religiöser Bräuche von einigen Gesellschaftsgruppen nicht akzeptiert. Erste Untersuchungen [2] haben gezeigt, dass auch synthetischer Apatit Fluorid adsorbieren kann. Gemeinsam mit CDN werden wir auch die Einrichtung und die korrekte Anwendung von Knochenkohlefiltern vorantreiben sowie die erwähnten Akzeptanzprobleme, beispielsweise in Äthiopien, näher untersuchen. ○ ○ ○



Fluoridreduktion in 25 Haushaltfiltern von CDN. Die gestrichelte Linie zeigt den kenianischen Grenzwert für Fluorid im Trinkwasser (1,5 mg/l). Erhöhte Fluoridkonzentrationen wurden im aufbereiteten Wasser von Filtern gemessen, deren Filtermaterial noch nie ausgewechselt wurde (2006).

¹ CDN Water Quality Programme, Nakuru, Kenya

- [1] UNESCO Ground water briefing: Trace elements in groundwater and public health, www.iah.org/briefings/Trace/trace.pdf (Stand 10.12.2006)
 [2] Hubaux N. (2006): An Investigation of Calcium Phosphate for Drinking Water Defluoridation, Diplomarbeit, EPFL.

Sich auf schlechte Zeiten vorbereiten

Organismen werden in der Umwelt regelmässig mit natürlichen und von der Ziviliation verursachten Stresssituationen konfrontiert, die in der Zelle eine genetische Abwehrreaktion bewirken. Das *Gpxh*-Gen der Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* wird durch sehr helles Licht aktiviert, noch bevor Schäden auftreten. Falls trotzdem Schäden entstehen, bewirken diese eine zusätzliche Verstärkung der *Gpxh*-Aktivierung und verlängern so die Abwehrreaktion. Beat Fischer, Régine Dayer, Manuela Wiesendanger, Rik Eggen

Das Leben in der freien Natur stellt an alle Organismen hohe Ansprüche. Anpassungsfähigkeit und Instinkt entscheiden über Leben oder Tod. Auch die kleinsten Lebewesen sind oft umweltbedingten Stresssituationen ausgesetzt, zum Beispiel Hitze, Trockenheit oder hohen Lichtintensitäten. Das erfordert eine schnelle und effiziente Abwehrreaktion. Solche Reaktionen finden in jeder Zelle statt und beruhen meist auf einer genetischen Antwort. Sonst ruhende Abwehrgene werden aktiviert; die daraus resultierenden Proteine helfen der Zelle, sich gegen den Stress zu wehren.

Indikatoren für Umweltbelastungen

Bei photosynthetisch aktiven Organismen wie der einzelligen Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* ist Starklichtstress besonders häufig. Volle Sonneneinstrahlung überlastet die Photosynthese und führt zur Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (z. B. $^1\text{O}_2$). Diese sind sehr aggressiv und schädigen die Zelle. Viele

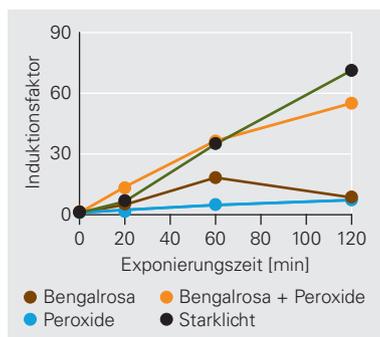


Abb. 1: Unterschiedlicher Ablauf der *Gpxh*-Stressantwort. Im Gegensatz zur $^1\text{O}_2$ -Aktivierung durch Bengalrosa, das eine frühe, aber vorübergehende Antwort verursacht, lösen organische Peroxide eine langsame und stetige Aktivierung aus. Werden Bengalrosa und organische Peroxide zusammen zugegeben, so erhält man eine ähnliche Reaktion wie bei Starklichtbedingungen.

anthropogene Umweltbelastungen verursachen einen ähnlichen Effekt oder können den natürlichen Stress noch verstärken. Wenn wir also die genetischen Abwehrsysteme und deren Regulationsmechanismen in *Chlamydomonas* kennen, können diese Algen später möglicherweise als Indikatoren für einwirkende Umweltbelastungen genutzt werden.

Die Bildung von Singulett-Sauerstoff ($^1\text{O}_2$) ist eine der ersten Konsequenzen von Starklichteinfluss auf Pflanzen und Algen. Wir haben ein Abwehrgen isoliert, *Gpxh* genannt, das sehr gezielt durch $^1\text{O}_2$ aktiviert wird (Abb. 1). *Gpxh* kann aber auch durch organische Peroxide angeschaltet werden. Zu ihnen gehören die ebenfalls über Starklicht geschädigten Fettsäuren in der Zellmembran. Diese Aktivierung erfolgt aber viel langsamer und weniger stark. Da das *Gpxh*-Protein wahrscheinlich direkt in den Abbau von solchen Fettsäureperoxiden involviert ist, haben wir untersucht, warum *Gpxh* so stark durch $^1\text{O}_2$ angeschaltet wird und wie diese Regulation bei Starklicht funktioniert.

Prävention und Stabilisierung

Wir konnten zeigen, dass *Gpxh* unter Starklichtbedingungen sehr schnell und stark durch die Bildung von $^1\text{O}_2$ aktiviert wird, was zu erhöhten *Gpxh*-mRNA-Konzentrationen (Botenstoff für Proteinsynthese) führt (Abb. 1) [1]. Da $^1\text{O}_2$ direkt zur Bildung von Fettsäureperoxiden in Membranen führen kann, scheint diese frühe Stressantwort eine präventive Reaktion auf die zu erwartenden Schäden zu sein. Diese Aktivierung geschieht durch Stimulierung der *Gpxh*-Transkription, d.h. die Bildung neuer mRNA. Im Gegensatz dazu erfolgt die Aktivierung durch Peroxide durch

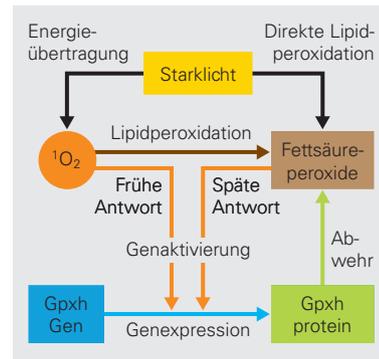


Abb. 2: Schematische Abbildung der Abläufe in der Zelle, die zur *Gpxh*-Aktivierung bei Starklichtbedingungen führen.

eine Stabilisierung der gebildeten mRNA. Das führt zu einer langsamen Akkumulation der *Gpxh*-mRNA und damit zu einer länger anhaltenden Abwehr über die produzierten Proteine [2].

Unter Starklichtbedingungen werden diese beiden Mechanismen kombiniert: Die Bildung von $^1\text{O}_2$ führt zu einer präventiven Neusynthese von *Gpxh*-mRNA und dem Aufbau der Abwehr. Falls Zellen wirklich geschädigt und Fettsäureperoxide gebildet werden, kann diese Abwehrreaktion durch mRNA-Stabilisierung noch verstärkt und verlängert werden. So kann die Zelle die Peroxide rasch bekämpfen (Abb. 2). Dies ist ein Beispiel, wie sogar einfachste Organismen «gelernt» haben, sich vorzeitig auf schlechte Zeiten vorzubereiten. ○○○

Selbst einfachste Organismen haben offenbar gelernt, sich auf schlechte Zeiten vorzubereiten.

- [1] Fischer B., Eggen R., Trebst A., Krieger-Liszkay A. (2006): The glutathione peroxidase homologous gene *Gpxh* in *Chlamydomonas reinhardtii* is upregulated by singlet oxygen in photosystem II upon photoinhibition. *Planta* 223, 583–590.
- [2] Fischer B., Dayer R., Wiesendanger M., Eggen R. (2006): Mechanisms for the independent regulation of gene expression by the cause and the effect of photooxidative stress during high light conditions. *Physiologia Plantarum*, accepted.



Die Eawag

durch das Jahr

2006

Das Jahr 2006 stand im Zeichen der Wahl von Janet Hering zur neuen Direktorin sowie dem Bezug des Neubaus «Forum Chriesbach». Die Abteilungen im Bereich Gewässerökologie sind reorganisiert, und die sozialwissenschaftliche Forschung ist mit der neuen Abteilung Cirus gestärkt worden. Ein Rückblick auf einige weitere ausgewählte Ereignisse. Andri Bryner

Erfolg für Arsen-Biosensor

Einem Team von Forschenden der Eawag, der Universität von Hanoi (Vietnam) und der Uni Lausanne ist es erstmals gelungen, einen Biosensor für Arsen im Wasser vor Ort erfolgreich anzuwenden. Der neu entwickelte Test führt zu wesentlich zuverlässigeren Aussagen als die bisher angewendeten Feldtests auf chemischer Basis. Er erlaubt eine rasche Analyse vieler Proben, ist günstig und kann ohne aufwändige Laborausüstung direkt in den von der Arsenproblematik betroffenen

Regionen eingesetzt werden. Für seine Publikation hat das Team im Februar von der Zeitschrift «Environmental Science and Technology» den Preis für die beste Veröffentlichung des Vorjahrs zugesprochen erhalten. www.eawag.ch/arsen

Revitalisierung: nötiger denn je

Hochwasserschutz und Flussrevitalisierungen müssen Hand in Hand gehen, denn die Hoffnung auf einen Hochwasserschutz allein durch Begradigung und Eindämmung der

Flüsse hat sich als trügerisch erwiesen. Das Hochwasser von 2005 war der finanziell kostspieligste Schadenfall der letzten 100 Jahre in der Schweiz. Gleichzeitig sind Lebensräume und Vernetzungen verschwunden, welche für funktionierende Fließgewässerökosysteme dringend nötig wären. Im Rhone-Thur-Projekt haben daher zahlreiche Forschungspartner gemeinsam mit Bund und Kantonen Grundlagen und Methoden entwickelt, damit Flussbauprojekte mit Gewinn für die Ökologie und Erfolg für alle Beteiligten umgesetzt werden können. Am Eawag-Infotag vom 8. März haben wir gegen 400 Fachleute und Interessierte aus Wissenschaft, Wasserbau, Ingenieur- und Umweltbüros sowie aus Verwaltung und Politik über die jüngsten Forschungsergebnisse informiert.

www.rivermanagement.ch

Der Nachhaltigkeit verpflichtet – im eigenen Haus und international.

Oben: Besuch von Bundespräsident Moritz Leuenberger bei Interimsdirektor Ueli Bundi im viel beachteten Neubau Forum Chriesbach.

Unten: Vorbereitungen für einen Workshop zur Einführung einer von der Eawag optimierten Fäkalschlammabfuhrung in Togo.



Workshop in Hanoi zur Anwendung des neuen Biosensors für arsenhaltiges Wasser.

Asbest: Entwarnung

Vor Beginn der Sanierungsarbeiten am alten Bürogebäude in Dübendorf haben Materialuntersuchungen Hinweise ergeben auf nur schwach gebundenen Asbest. Die sofort veranlassten Raumluftuntersuchungen haben aber glücklicherweise nirgends nachweisbare Konzentrationen der lungengängigen Fasern ergeben. Das rasche Handeln durch die Direktion und die offene Information über den Verdacht wurde von den Mitarbeitenden sehr geschätzt. ○ ○ ○



Was bringen Revitalisierungen für die Artenvielfalt? Abfischen im Rahmen des Rhone-Thur-Projekts.

Rotkreuzpreis für Sodis

Das Schweizerische Rote Kreuz, SRK, hat am 24. Juni das Eawag-Projekt Sodis und dessen Programmleiter Martin Wegelin mit dem erstmals verliehenen Rotkreuzpreis ausgezeichnet. Die Ehrung soll besondere humanitäre Leistungen auszeichnen. Die Jury zeigte sich beeindruckt vom persönlichen Einsatz von Sodis-Initiant Martin Wegelin: Er suche seine Forschungs- und Entwicklungsarbeit laufend in die Tat umzusetzen und bemühe sich persönlich mit Partnerschaften und Fundraising darum, dass benachteiligten Menschen zu besseren Lebensbedingungen verholfen werde. Die solare Wasserdesinfektion in Pet-Flaschen sei eine bestechende Methode, um zur Reduktion der Durchfallerkrankungen und damit der Sterblichkeit in Entwicklungsländern beizutragen.

www.sodis.ch



Verleihung des 1. Rotkreuzpreises an Sodis-Projektleiter Martin Wegelin im Nationalratsaal, Bern. SRK-Präsident René Rhinow, Jurypräsidentin Anja Bremi, Martin Wegelin (von links).

auch einmal zum Hin-und-her-Rasen mit dem Spielzeugfeuerwehrauto animiert. Dazu gehört aber auch ein grosszügiger Aussenbereich mit Schaukeln, Rutsche und allem, was dazugehört.

www.kinderpavillon.eawag-empa.ch

Kinderpavillon wurde erobert

Fast ist er im Medienrummel um das neue Forum Chriesbach (Seite 62) etwas untergegangen: Am 2. August ist im neuen Kinderpavillon Leben eingekehrt; die Kinder hätten den Neubau richtiggehend erobert, formuliert es Krippenleiterin Eveline Vonlanthen. Die Tagesstätte für den Nachwuchs der Empa- und Eawag-Angestellten ist ein Holzmodulbau, entworfen von der Hornberger Architekten AG. Drei «Wohneinheiten» auf 270 Quadratmetern mit Platz für insgesamt 33 Kinder sind verbunden mit einem hellen Spielkorridor, der



Kommt bei Kindern und Betreuerinnen gut an: der neue Eawag/Empa-Kinderpavillon mit grosszügigem Aussenbereich.

Hoher Besuch

Gleich zweimal hat Bundespräsident Moritz Leuenberger, Vorsteher des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, im Jahr 2006 die Eawag besucht. Zusammen mit seinem Stab zeigte er sich beeindruckt von der Vielfalt der Eawag-



Bundespräsident Moritz Leuenberger im Gespräch mit Roland Schertenleib.

Wasserforschung und insbesondere von der im Forum Chriesbach gelebten Nachhaltigkeit im eigenen Betrieb. Am 14. September liess sich die nationalrätliche Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur (WBK) durch den Neubau führen. In den Gesprächen mit Direktion, Abteilungs- und Projektleitenden kam wiederholt zum Ausdruck, dass die Politik die Brisanz von Wasserfragen erkennt und die problemorientierte Forschung der Eawag als bedeutenden Beitrag zu deren Lösung einschätzt. ○○○

Lorbeer für den Neubau

Anfang Juni wurde der Neubau Forum Chriesbach bezogen. Am 7. Juni fand die offizielle Schlüsselübergabe von der Generalunternehmung Implenia an die Bauherrschaft Eawag/



Gewinner des Solarpreises 2006 für das Forum Chriesbach. Daniel Bühler (3-Plan), Bob Gysin (BGP Architekten und Planer), Ueli Bundi (v.l.).

Bafa statt. Am 19. Oktober wurde dem Bau der Schweizer Solarpreis zugesprochen. Inzwischen sind mit dem Innovationspreis der swisspor-Gruppe, dem «Watt d'Or» des Bundesamtes für Energie, und dem Tageslicht-Award der Velux-Stiftung weitere Auszeichnungen dazugekommen, auf welche vor allem das Generalplanerteam um Architekt Bob Gysin und Partner, aber auch Eawag, Empa und Bafa stolz sein dürfen.

www.forumchriesbach.eawag.ch



Sie hat die Eawag-Cafeteria bis Ende 2006 geführt: Erika Vieli.

aQa löst IG Cafeteria ab

Mit dem durch das Gastrounternehmen DSR geführten Personalrestaurant «aQa» im Forum Chriesbach ist am Standort Dübendorf eine Tradition abgelöst worden. 23 Jahre lang hat die IG Cafeteria zuvor zum guten Klima an der Eawag beigetragen. Während der letzten sechs Jahre war Erika Vieli die treibende Kraft im obersten Geschoss des Bürogebäudes. Planen, Einkaufen, Kochen, Bedienen – sie war überall aktiv und hat innert kurzer Zeit die angeschlagenen Finanzen der IG ins Lot gebracht. Ende 2006 wurde die

IG Cafeteria aufgelöst. Das Team wurde von DSR übernommen. Erika Vieli hat per Januar 2007 eine neue Herausforderung angenommen. Ihr und allen, die sich in dieser betriebseigenen Organisation engagiert haben, gehört grosser Dank. ○○○

Internationales Wassermanagement-Forum

26 externe Wasserexperten, Geschäftsführer und Abteilungsleiter von Trinkwasserver- und Abwasserentsorgern, Ingenieurbüros, Umwelttechnikern und Gewässerschutzbehörden aus dem deutschen Sprachraum trafen sich vom 8. bis 10. November mit Wissenschaftlern der Eawag zum Internationales Wassermanagement-Forum, IWMF. Die Entscheidungsträger diskutierten und bewerteten gemeinsam mit den Forschenden Herausforderungen und strategische Handlungsoptionen auf dem Gebiet der Mikroverunreinigungen im Wasser. Die Eawag trägt mit diesem neuen Veranstaltungsformat dazu bei, vom untauglichen Versuch der sektoriellen Problembehandlung wegzukommen und im Austausch zwischen allen relevanten Akteuren langfristige Lösungswege zu entwickeln. Das IWMF 2007 wird sich vom 4. bis 6. September mit Entscheidungsfindung und Erfolgskontrolle bei Flussrevitalisierungen befassen. www.iwmf.eawag.ch



Intensiver Austausch zwischen Praxis und Wissenschaft: Workshop im Rahmen des IWMF 2006.



Jahresausflug der Eawag ins Kandertal zur Neat-Baustelle.

Tunnelbaustelle und Störzucht

Der «Betriebsausflug» fand am 19. September bei schönstem Spätsommerwetter statt. Bei Mitholz im Kandertal liessen sich die Eawag-Mitarbeitenden über den fast fertig gestellten AlpTransit-Basistunnel am Lötschberg informieren. Eine Wanderung führte anschliessend zum sagenumwobenen Blausee. Zum Abschluss wurde die Störzucht-Versuchsanlage in Frutigen besichtigt. Im 20 Grad warmen und von der Eawag untersuchten Bergwasser aus dem neuen Tunnel wachsen die bedrohten Urfische offensichtlich bestens. Bereits kann geräucherter Stör aus dem Berner Oberland gekauft werden und bald soll der erste Kaviar erhältlich sein. ○ ○ ○

Wem gehört das Wasser?

«Die Knappheit an frischem, sauberem Wasser», so heisst es in einem Bericht der Vereinten Nationen, «ist die grösste Gefährdung, der die Menschheit je ausgesetzt war.» Das im September 2006 publizierte Buch «Wem gehört das Wasser?» erörtert das Phänomen Wasser, staunt über seine Einzigartigkeit und setzt sich mit den Gefahren und den Chancen

des Wassers für das Leben auseinander. Das Buch diskutiert die wichtigsten Fragen zur Trinkwasserversorgung und Nahrungsmittelproduktion, verhandelt Wasser aber auch als zerstörerische Kraft und erforscht die chemischen Eigenschaften des Moleküls. Engagierte, teils verstörende Bildfolgen und leicht verständliche Texte erläutern, wieso das Wasser niemandem gehören kann. Die Eawag hat das neue Standardwerk zum Wasser personell und finanziell unterstützt. Im Buchhandel in Deutsch oder Englisch; Verlag: Lars Müller, Baden.

www.lars-mueller-publishers.com

Aus dem Personal

In den Ruhestand getreten

Hans Jürg Meng: Bereits 1973 stiess Hans Jürg Meng zur Eawag, als Doktorand in Kastanienbaum, wo er den Ursachen von Saprolegniosen (Schimmelkrankheiten von Fischen) in schweizerischen Gewässern nachspürte. 1980 wurde er fest angestellt. Rasch merkten seine Kollegen, dass sein Doppelstudium als Naturwissenschaftler und Elektrotechniker ihn für besondere Aufgaben befähigten: Elektrofischerei und Echolot-Fernerkundung von Fischschwärmen wurden zu seinen Spezialgebieten in der Forschung. Dass dabei ab und zu auch ein Fisch zum Essen abfiel, machte ihn bei allen beliebt. Früh erkannte der technisch versierte Meng die Bedeutung des PCs für die Wissenschaft. Fast nebenbei und neben seinem offiziellen Pflichtenheft baute, betreute und erweiterte er in Kastanienbaum ein Computernetzwerk. Erst wurde er «nur» Mitglied in der Computerkommission, wechselte dann aber 2000 mit der Eawag-Reorganisation offiziell in die Informatikabteilung.

Eva Molnar: Die frisch diplomierte ETH-Chemikerin Eva Molnar gehörte ab 1975 zu den wichtigsten Stützen der Gruppe für organische Einzel-

stoffanalytik in der Chemieabteilung. In den frühen Phasen der Untersuchungen von chlorierten Lösemittelspuren in Grundwasser und Trinkwasser leistete sie ausgezeichnete Pionierarbeit. Nach einem längeren Familienurlaub kehrte sie 1991 wieder an die Eawag zurück und beschäftigte sich mit organischen Wasserverunreinigungen unter Benutzung von modernsten Anreicherungs-, Trenn- und Nachweisverfahren. In den letzten Jahren profilierte sie sich als sehr verlässliche chemische Analytikerin in Forschungsprojekten der ETH und des Schweizerischen Nationalfonds. Sie bestimmte Antibiotikakonzentrationen sowohl in Spital- und Gemeindeabwasser als auch in Flüssen und Grundwasser. Ihr grosses Interesse an Sport und Natur wird sie nun noch besser pflegen können.

Christian Schaffner: Als junger Chemielaborant begann Christian Schaffner vor 42 Jahren seine Tätigkeit an der Eawag, die sich damals noch im ETH-Zentrum befand. Anfang der 1970er-Jahre stiess er zur Gruppe für organische Einzelstoffanalytik und war wesentlich an der Einführung der neuesten instrumentalanalytischen Verfahren beteiligt (Gaschromatographie-Massenspektrometrie etc.). Dank seinem technischen Geschick meisterte er auch sehr anspruchsvolle Aufgaben wie etwa das Herstellen von Trennkapillaren aus Glas. Über die vielen Jahren hinweg entwickelte Christian Schaffner analytische Bestimmungsmethoden für eine grosse Anzahl von Wasserverunreinigungen. Mit Begeisterung war er vor allem auch bei der Anwendung dieser Methoden in Feldstudien dabei. War er beteiligt, stiegen die Erfolgchancen der Projekte garantiert. Er hat auch die Fotografie auf einem hohen Niveau gepflegt und wird nun für dieses Hobby hoffentlich mehr Zeit finden.

Martin Strauss: Als Bau- und Kulturingenieur arbeitete Martin Strauss in Projekten der Entwicklungszusammenarbeit in Tansania und Nepal,

bevor er sich ganz der Forschung verschrieb. Seit 1977 an der Eawag, hat er sich in der Forschung zusammen mit Partnern in Lateinamerika, Afrika und Asien den Ruf als einer der weltweit führenden Experten für die Behandlung von menschlichen Ausscheidungen und Abfällen erarbeitet. Sein Spezialgebiet war die Wiederverwendung von organischen Siedlungsabfällen und Fäkalien in Entwicklungsländern für Aquakulturen und die stadtnahe Landwirtschaft. Er war Mitglied in mehreren wissenschaftlichen Kommissionen und bereits 1989 sowie auch 2006 mitverantwortlich für die Erarbeitung des WHO-Leitfadens zur Verwertung von Abwasser und Fäkal-schlämmen. In der Lehre und mit mehreren Publikationen engagierte sich Martin Strauss dafür, dass im Umgang mit Abfall und Fäkalien die Siedlungshygiene und letztlich die Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen im Vordergrund stehen. Aber auch wirtschaftliche Aspekte behielt er stets im Auge und entwickelte kostengünstige Methoden, namentlich für die sichere Behandlung von Fäkalschlämmen in Städten ohne Kanalisation. Im Mai 2006 organisierte er in Dakar, Senegal, mit grossem Erfolg, unterstützt von Uno, Weltbank und Deza, das erste Symposium über Fäkal-schlamm-Management. Zum Glück bleibt Martin Strauss auch nach seiner Pensionierung als Experte aktiv.

Michael (Mike) Sturm: Geologe Mike Sturm studierte und doktorierte in Wien und Salzburg. 1969 wechselte er an die Uni Bern und 1977 an die Eawag – zuerst in die Limnologie, dann als Leiter der Gruppe Sedimentologie in die neu gegründete Abteilung Umweltphysik. Er zählt zu den Ersten, die sich intensiv mit Seesedimenten beschäftigt haben, und heute gibt es kaum einen Schweizer, von dessen Grund er nicht

schon Sedimentproben gestochen hat. Seine Publikationen aus EU-Projekten und im Speziellen vom Baikalsee zeugen vom gut ausgebauten internationalen Netz, das er unter den Forschenden in diesem Bereich geknüpft hat. Besonderes Interesse brachte er nicht nur den im Sediment gespeicherten Informationen entgegen, sondern vor allem auch der Art und Weise, wie Sedimente gebildet werden. Mit Sedimentfallen kam er den Prozessen und der Dynamik der Ablagerung auf die Spur, nicht zuletzt den wechselnden Vorgängen im Zuge von Klimaänderungen (siehe Seite 29). Mike Sturm war und ist ein Forscher, der auch den experimentell praktischen Belangen seiner Arbeit Beachtung schenkt. Wer immer mit Sedimenten zu tun hat, bekommt bei ihm Rat oder gar tatkräftige Unterstützung im Feld – die Liste der Verdankungen an ihn in Dissertationen und wissenschaftlichen Arbeiten von Dritten ist daher mindestens so lang wie seine eigene Publikationsliste.

Jürg Zobrist: In den 70er-Jahren hat Jürg Zobrist das analytisch-chemische Labor der Eawag aufgebaut. Er startete das Programm zur nationalen Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer (Naduf) in Zusammenarbeit mit der Landeshydrologie und dem damaligen Amt für Umweltschutz. Naduf war eine Pionierleistung, da erstmals umfassende chemische Untersuchungen mit Abflussmessungen gekoppelt wurden, und das Programm hat seither wesentliche Erkenntnisse zum Gewässerschutz in der Schweiz geliefert. In den 80er-Jahren wandte sich Jürg Zobrist der Untersuchung der atmosphärischen Niederschläge zu, die im Zusammenhang mit der Problematik des sauren Regens an Bedeutung gewannen. Parallel dazu widmete er sich vermehrt dem Grundwasser, insbesondere den geochemischen Prozessen. Seine Arbeiten zur biogeochemischen Transformation nach der Infiltration

von Flusswasser gelten heute als Klassiker. Jürg Zobrist, ab 2000 in der neu entstandenen Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser, hat es immer verstanden, jüngere Forscher für biogeochemische Fragen zu interessieren, und er blieb auch bis zu seiner Pensionierung dem wertvollen Naduf-Programm verbunden.

Verstorben

Stefano Gianella: Am 3. November ist Stefano Gianella den schweren Verletzungen eines Segelunfalles erlegen. Er war seit 2000 in der Abteilung für Ingenieurwissenschaften tätig, zuerst als Doktorand und dann als Post-Doktorand. Seine Dissertation war ein gutes Beispiel für seine systematische und zielstrebige Art. Für sein Thema «Strategisches Informationsmanagement in der Abwasserentsorgung» hat er innert kurzer Zeit ein grosses Netzwerk in Praxis und Wissenschaft geknüpft. Dies hat es ihm ermöglicht, die sehr abstrakten informationstheoretischen Ansätze in der konkreten Praxis zu erproben und umzusetzen. 2005 hat er begonnen, die neue Gruppe «Wasserinfrastruktur-Management» mit aufzubauen. Neben der Arbeit fand er aber auch Zeit, im heimatlichen Blenio bei der Pflege der Obstbäume mitzuhelfen, intensiv in den Alpen zu biken und sich seinen Hochsee-Segelschein zu ersehlen. Während eines Sturms zwischen Frankreich und den Balearen wurde er vom überschlagenen Grossbaum lebensgefährlich am Kopf verletzt. Wegen der schwierigen Verhältnisse auf See war es den Seerettungskräften nicht möglich, den Schwerverletzten von Bord der Segeljacht zu bergen. Erst am nächsten Morgen nach Einlaufen im Hafen von Mahon auf Menorca konnte er in das lokale Spital eingeliefert werden. Am Abend mussten die Ärzte den Tod bekannt geben. Stefano Gianella wird uns mit seinem bescheidenen Wesen, starken Willen und trockenem Humor stets in guter Erinnerung bleiben. ○ ○ ○

European ES&T Office an der Eawag

Die Zeitschrift Environmental Science & Technology (ES&T) gilt im Umweltbereich als führend. Was viele nicht wissen: Das europäische Büro der von der Amerikanischen Chemischen Gesellschaft herausgegebenen Fachpublikation befindet sich an der Eawag. Anke Schäfer, Marie-Jeanne Weyrich, Lucia Valle, Janet Hering, Laura Sigg, Walter Giger

Alexander Zehnder (bis 2004), Walter Giger und Laura Sigg sind die «Associate Editors», die im Januar 2000 zusammen mit dem damaligen Editor Bill Glaze das europäische Redaktionsbüro von ES&T gründeten. Das Ziel war, die Internationalisierung der Fachzeitschrift voranzutreiben. Die Eawag bot sich als idealer Ort an, nicht zuletzt dank der Zusammenarbeit des früheren Direktors Werner Stumm mit ES&Ts erstem Redaktor Jim Morgan. Mit Anke Schäfer, die 2001 durch Marie-Jeanne Weyrich ergänzt wurde, konnte eine ehemalige Eawag-Doktorandin für den Aufbau gewonnen werden. Seit Januar 2007 gehört auch Eawag-Direktorin und Editorin Janet Hering zum europäischen Büro, ver-

Unter den zehn meistzitierten Eawag-Publikationen seit 2000 sind vier ES&T-Artikel.

stärkt durch ihre Assistentin Lucia Valle. Das Büro prüft alle Manuskripte, die einem der Associate Editors zugeteilt wurden, in einem Peer-Review-Prozess. Die eingereichten Texte werden dabei an mehrere Gutachterinnen und Gutachter geschickt, die ihre Fachmeinungen abgeben. Oft ist viel Überzeugungskraft gefragt, um diese zu motivieren, bringt doch die Mitarbeit weder Geld noch Zuwachs an Publikationen, ist aber aufwändig und muss innerhalb kurzer Zeit erledigt werden.

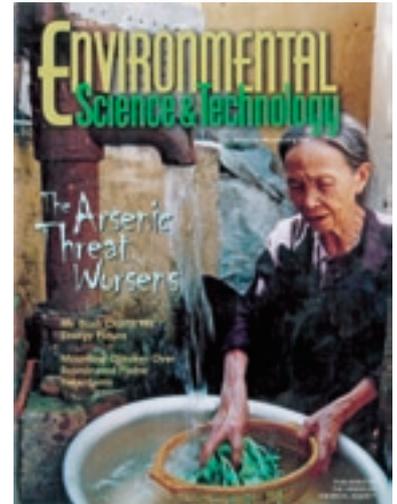
Helpen kann die persönliche Bekanntheit mit dem Gutachter, der schlecht Nein sagen kann, wenn ihm das Manuskript persönlich ins Büro gebracht wird.

60 Prozent abgelehnt

Der Anteil abgelehnter Entwürfe lag 2006 im europäischen Büro bei über 60%. Ausschlaggebend sind oft mangelnde Originalität, mangelnde Umweltrelevanz oder von Gutachtern oder Redaktor festgestellte fachliche Mängel. Seit Januar 2000 hat das ES&T-Büro an der Eawag schon mehr als 3000 Manuskripte überprüft. Allein 2006 waren es 547 – gegenüber noch 256 im Jahr 2000. Auch zwei Sonderhefte zu den Themen «Ecotoxicology» und «Emerging Contaminants» wurden in dieser Zeit an der Eawag vorbereitet. Zusätzlich zur Arbeit an den Fachmanuskripten wurde von Anke Schäfer eine ganze Reihe von Artikeln für die Rubrik «News and Features» verfasst.

Guter Ruf

Für viele Forschende der Eawag, besonders aus dem umweltchemischen Bereich, ist ES&T das Journal der Wahl für eigene Publikationen. 2006 wurden nicht weniger als



Immer wieder sind Themen von Eawag-Forschenden prominent in ES&T vertreten, wie hier zuoberst der Beitrag über arsenbelastetes Grund- und Trinkwasser in Vietnam.

24 von Eawag-Mitarbeitenden verfasste Artikel in der zweiwöchentlich erscheinenden Zeitschrift publiziert. Ein Grund dafür ist sicher der gute Ruf von ES&T, das mit einem «Impact factor» – ein Mass für den wissenschaftlichen Einfluss der publizierten Artikel – von 4,1 deutlich höher liegt als vergleichbare Zeitschriften im Umweltbereich. Ein Forschungsartikel über Biosensoren zur Arsenbestimmung in Vietnam der Eawag-Mitarbeiter Michael Berg und Jan Roelof van der Meer wurde 2006 zum besten Artikel des Jahres 2005 gewählt.

Zur Online-Ausgabe von Environmental Science & Technology: <http://pubs.acs.org/journals/esthag/>

Kein Schokoladepapier

Redaktorinnen und Reviewer haben es nicht immer leicht, von den Einsendern der Manuskripte verstanden zu werden. Frustrierte Autoren scheuen sich nicht, kritische Reviewer auch unter der Gürtellinie anzugreifen. Statt sich für die wissenschaftlich entscheidenden Details des Verfahrens zu interessieren, würden sie bloss persönliche Interessen verfolgen oder hätten keine Ahnung vom fachlichen Hintergrund. Aber auch Reviews sind nicht immer diplomatisch formuliert: Kommentare wie «das schlechteste Paper, das ich je gelesen habe», «qualitativ nicht einmal eine Diplomarbeit» oder «Ich würde mich schämen, ein solches Paper zur Publikation einzureichen» kommen immer wieder vor und werden vor der Weitergabe an die Autorinnen und Autoren nach Bedarf entschärft. Eher zur heiteren Sorte gehört folgende Notiz eines Forschers: «Wie von Ihnen empfohlen, haben wir den Artikel um fünf Seiten gekürzt. Wir pflichten Ihnen bei, dass das Papier nun stark gewonnen hat.» – Effektiv gestrichen war nichts, der Autor hatte lediglich die Seitenränder verschoben und eine kleinere Schrift gewählt ...

Einem breiten Publikum bekannt

«Die Eawag? Die kümmern sich doch ums Wasser. Das finde ich gut.» Auf diesen Reflex treffen Eawag-Mitarbeitende häufig. Diverse Aktivitäten haben 2006 dazu beigetragen, dass der Stellenwert der Wasserforschung in Öffentlichkeit und Politik hoch bleibt und der Bekanntheitsgrad unserer Institution sogar steigt. Allem voran die Eröffnung des Neubaus Forum Chriesbach am 1./2. September. Der Anlass hat nicht nur viel Publikum ins «Haus mit den blauen Lamellen» gelockt, sondern – verbunden mit dem Gewinn mehrerer Preise – auch zu einer anhaltenden Medienpräsenz geführt (siehe Seite 62). Im Februar haben wir zusam-

men mit der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit sowie unterstützt von Nationalrätin Rosmarie Zapfl und ETH-Ratspräsident Alexander Zehnder in Bern über die Forschungsaktivitäten im Dienst der Millenniums-Entwicklungsziele informiert; im Juli zusammen mit dem Kanton Bern über die langjährigen Untersuchungen des Brienersees. Grosse Beachtung schenkten Publikums- und Fachmedien dem Eawag-Infotag zum Thema Hochwasserschutz und Flussrevitalisierung, der am 8. März vor fast 400 Interessierten stattfand.

Insgesamt zählte der externe Medienbeobachtungsdienst 868 Arti-

kel und Sendungen, die sich mit der Eawag-Forschung befasst haben, gut 7% mehr als im Vorjahr. Der Zugriff auf die Internetseiten stieg gegenüber 2005 um 30 Prozent auf 750 000 «visitor sessions» – der neue Auftritt findet breite Akzeptanz. 36 Gruppen besuchten die Eawag in Dübendorf oder Kastanienbaum, von der Schulklasse bis zur Verwaltungsdelegation aus China. Mit Ausgaben zu Biofilmen (60), Hochwasserschutz und Revitalisierung (61) sowie zu Stoffflüssen in Entwicklungs- und Schwellenländern (62) trugen auch drei Eawag News bei zur Vermittlung von Forschungsergebnissen über die Hochschullandschaft hinaus. ○ ○ ○

Nachhaltige Energieversorgung der Eawag

Thomas Lichtensteiger, in Zusammenarbeit mit dem Umwelt-Team

Die Energieversorgung der Eawag wird noch umweltfreundlicher als bisher. Die «Leitlinien für den Umweltschutz an der Eawag» aus dem Jahr 1994 sahen vor, den Verbrauch nicht erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2025 auf 20% des Verbrauchs von 1990 zu senken. Einem Antrag des Umwelt-Teams folgend, hat die Direktion nun beschlossen, dieses Ziel durch einen vollständigen Wechsel auf erneuerbare Energien zu ersetzen und den Wechsel bereits bis 2010 zu realisieren. Die umweltfreundliche Energiebeschaffung und das Ausschöpfen aller Sparmöglichkeiten bei der Liegenschaften- und Geräteerneuerung sowie beim Betrieb sind die zentralen Punkte. Zudem soll auch der Mobilitätsbedarf, zum Beispiel Reisen an Kongresse, ab spätestens 2025 durch CO₂-Abgaben und mit der Finanzierung geeigneter Projekte vollständig CO₂-neutral ausgestaltet werden.

Mehr eigener Solarstrom

Für den Strom wird der Wechsel auf erneuerbare Energien über zwei

Wege angegangen: Zum einen wird die Produktion von Solarstrom auf den eigenen Gebäuden konsequent ausgebaut, wo möglich und sinnvoll wird Wärme-Kraft-Koppelung eingesetzt. Zum anderen wird der Restbedarf mit Ökostrom der Marke *naturemade star* gedeckt. Das Label *naturemade star* wurde von der Eawag mitentwickelt. Es gewährleistet, dass die Wasserkraftnutzung die ökologischen Rahmenbedingungen einhält, und ist generell der nachhaltigen Entwicklung verpflichtet (siehe auch Seite 37). Da in Dübendorf ein direkter Bezug von *naturemade-star*-zertifiziertem Strom nicht möglich ist, wird der Umweg über den Einkauf von Zertifikaten beschritten, d.h. anderswo wird in dem Masse wie von uns finanziert Ökostrom zum Preis des Normalstroms eingespiessen. Der Einkauf von Zertifikaten erfolgt stufenweise in vier Jahresschritten: Bereits 2007 werden für 500 MWh Zertifikate eingekauft – im Jahr 2010 sind es 2000 MWh. Für die Produktion von Solarstrom wird 2007 die Fotovoltaikanlage in Kastanienbaum

ausgebaut. Nach Abschluss der Umbauarbeiten wird dann auch auf dem sanierten Bürogebäude in Dübendorf eine Anlage erstellt. Erste Vorbereitungen dazu wurden im Jahr 2006 aufgenommen.

Beim Wärmeverbrauch kann das Ziel (Senkung des Konsums an nicht erneuerbarer Energie auf 1,3 TJ/Jahr) nach Aufgabe der Mietliegenschaft Chriesbach und der Sanierung der Büro- und Laborgebäude im Jahr 2010 voraussichtlich durch Einsparungen erreicht werden.

www.umwelt.eawag.ch



Die Solarpanel auf dem Dach des Forums Chriesbach. Nach Abschluss von Sanierung und Aufstockung des alten Bürogebäudes (hinten) soll auch dort auf dem Dach eine Fotovoltaikanlage installiert werden.

Das genügsame Haus

«Blauer Hort der Nachhaltigkeit», «Das Gebäude der Zukunft», «Schritt zur 2000-Watt-Gesellschaft», «Visitenkarte für die Null-Energie-Architektur» – breit haben die Medien über das Forum Chriesbach berichtet. Der rote Faden durch alle Beiträge: Die Eawag erforscht die nachhaltige Nutzung der Ressource Wasser und setzt gleich selbst ein Zeichen für eine zukunftsfähige Entwicklung. Andri Bryner

Am 1. September 2006 hat die Eawag ihren Neubau festlich eröffnet. Tags darauf nutzten rund 2500 Interessierte die Gelegenheit, das Haus mit der prägnanten Fassade aus blauen Glaslamellen eingehend zu besichtigen. Auf Informationswegen vermittelten wir den Besucherinnen und Besuchern alles Wissenswerte zum Gebäude, aber auch viel Spannendes zu Forschungsprojekten, mit denen die Eawag zur Lösung aktueller Wasserprobleme beiträgt.

Keine Heizung eingebaut

Das Besondere am Forum Chriesbach ist die konsequente Anwendung von vorhandenen Erkenntnissen des nachhaltigen Bauens. Nicht einzelne, auf die Spitze getriebene oder erst in Entwicklung stehende Komponenten stehen im Zentrum. Vielmehr spielen im Grunde etablierte Technologien möglichst einfach zusammen. Mit Ausnahme des Erdgeschosses (Personalrestaurant, Empfang und Bibliothek) benötigt das Haus keine eigentliche Heizung. Es ist mit einer 45 Zentimeter dicken Fassade (davon 30 cm Stein-

«Unsere Kernkompetenz ist die Architektur. An der wollen wir festhalten. Doch wir Architekten sollten das Thema der Energieeffizienz nicht nur den Technikern überlassen. Gute Architektur, nachhaltiges Bauen, energieeffiziente Konzepte und Wirtschaftlichkeit sind durchaus vereinbar.»

Bob Gysin, Bob Gysin + Partner BGP
Architekten ETH SIA BSA

wolle) und hochwertigen Fenstern so gut isoliert, dass die Wärmeverluste sehr gering sind. Alle Wärmequellen werden genutzt, von der Abwärme der Computer und Lampen bis zur Körperwärme der Mitarbeitenden. Im Winter wird die zugeführte Frischluft in einem Erdregister mit 80 im Erdreich verlegten, rund 20 Meter langen Rohren vorgewärmt und in einem Wärmetauscher mit der Wärme der Abluft und des Serverraums zusätzlich erwärmt. Zudem kann der Zuluft Wärme aus dem Warmwasserspeicher zugeführt werden. Dieser wird durch die Sonnenkollektoren auf dem Dach (50 m², Vakuumröhrensystem) und die Abwärme der Kühlaggregate aus der Küche aufgeheizt. Und für die Spitzendeckung in ganz kalten Perioden kann Wärme aus dem Empa-Eawag-Arealnetz bezogen werden. Die Berechnungen

gehen davon aus, dass dieser Bezug ein Äquivalent von 2500 Litern Erdöl pro Jahr nicht übersteigt – also kaum so viel wie ein konventionell erstelltes Einfamilienhaus benötigt.

Angenehm kühl im Sommer

1232 mit einem Siebdruckraster versehene Glaslamellen sind ein ästhetisch innovativer Ersatz für Sonnenstoren. Fassadenweise werden sie dem Sonnenstand nachgeführt: im Winter so, dass viel Sonne auf das Gebäude trifft, im Sommer so, dass die Strahlung Fenster und Innenräume nicht aufheizen kann. An heissen Tagen wird das ganze Haus über Nacht abgekühlt, indem sich Fensterflügel in den Büros und Luken im Dach öffnen. Die Hitze entweicht über das Atrium wie über einen Kamin, und kühle Nachtluft fliesst in die Büros. Die Betondecken dienen als Speichermasse; die Lehtmrennwände helfen zusätzlich, das Raumklima auszugleichen. Selbst als im Juli mit 35 Grad im Freien drückende Hitze herrschte, stiegen die Temperaturen im Forum Chriesbach nicht über 26 Grad – ohne energieintensive Klimatisierung.

Die graue Energie im Auge behalten

Nachhaltiges Bauen bedeutet, den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes zu berücksichtigen, insbesondere auch die investierte graue Energie. Relativ gesehen ist deren Anteil umso bedeutender, je tiefer der Energieaufwand für den Betrieb gehalten werden kann. Daher wurden Ressourcen schonende Materialien verwendet, zum Beispiel Recyclingbeton, Trennwände in Lehm-Holz-Bauweise oder Steinholz als Bodenbelag. Auf schlecht rückbaubare Ver-



Gaëtan Bally, Keystone

Der Neubau mit den charakteristischen blauen Lamellen. Dem Sonnenstand nachgeführt, sorgen sie im Sommer für die Beschattung, im Winter für eine grösstmögliche Besonnung der Fassade.



Sandra Neuhaus

Das Atrium am «Tag der offenen Tür» vom 2. September. Links und rechts sind die auskragenden Sitzungszimmer zu sehen.

bundwerkstoffe wurde möglichst verzichtet, bei energieintensiveren Bauteilen auf eine lange Nutzungszeit geachtet. 460 Quadratmeter Solarzellen auf dem Dach decken ein Drittel des Strombedarfs. Diese Anlage wird nach 25 Jahren rund 7,5-mal so viel Energie produziert haben, wie für ihre Herstellung benötigt wurde. Mit einem Leistungsverbrauch pro Kopf von rund 190 Watt für Strom und Wärme und 240 Watt für die graue Energie beweist das Forum Chriesbach, dass die 2000-Watt-Gesellschaft¹ im Gebäudebereich keine Vision mehr ist, sondern heute schon umgesetzt werden kann.

Forschen am eigenen Haus

Besonderes Gewicht kommt dem Umgang mit Wasser und Abwasser zu: Dachwasser wird im Wassergarten mit 80 m³ Inhalt gespeichert und zur Toilettenspülung benutzt. Das von den übrigen befestigten Flächen anfallende Regenwasser wird auf extensiv begrünten Flächen versickert. In allen Toiletten wird Urin separat abgeleitet und zu Forschungszwecken zentral gesammelt. So können mit der NoMix-Technologie praxisnahe Erfahrungen

gesammelt und neue Forschungsfragen im eigenen Haus angepackt werden (siehe Seiten 8–13). Demnächst soll ausserdem der Chriesbach revitalisiert werden, der durch das Eawag-Gelände fliesst. Die ganze Umgebung, samt der neuen Eawag-Empa-Kindertagesstätte, wird damit immer mehr zum Teil eines «sustainable campus» – einer nachhaltigen Hochschullandschaft.

Kein Luxusbau

Das Forum Chriesbach wurde vom Team Bob Gysin + Partner BGP geplant. Erstellt hat das siegreiche Wettbewerbsprojekt die Generalunternehmung Implenia. Der sechsgeschossige Bau umfasst neben den 150 Büroarbeitsplätzen einen Vortragssaal für 140 Personen, zwei Seminarräume für je 40 Personen, Sitzungszimmer und Kommunikationszonen. Ausserdem die gemeinsame Bibliothek von Eawag und Empa und das Personalrestaurant aQa mit Biolabel. Seit Juni 2006 ist das Haus bezogen. Die bisherigen Erfahrungen sind positiv, einzelne Schwachstellen oder Startschwierigkeiten wie defekte Temperaturfühler oder falsche Steuerimpulse werden laufend ausgemerzt. Das Vorurteil, nur die öffentliche Hand könne sich ein solches Haus leisten, hat sich nicht bestätigt. Durch den bewussten Verzicht auf einen luxuriösen Innenausbau sowie auf eine wirtschaftlich nicht zu rechtfertigende völlige Energieautarkie wurde der Baukredit des Bundes von 32,7 Millionen Franken nicht ausgeschöpft. Der Kubikmeterpreis von 572 Franken (SIA, BKP2) braucht einen Vergleich mit herkömmlich erstellten Bauten nicht zu scheuen.

Mehr Informationen und Ankündigung von öffentlichen Führungen auf: www.forumchriesbach.eawag.ch/

«Unsere Forschung für eine nachhaltige Wassernutzung bedarf der Tatbeweise. Vision und Konzept für das Forum Chriesbach haben sich als tragfähig erwiesen. Das freut mich für die Eawag und stimmt mich optimistisch für den anspruchsvollen Weg unserer Gesellschaft in eine nachhaltigere Zukunft.»

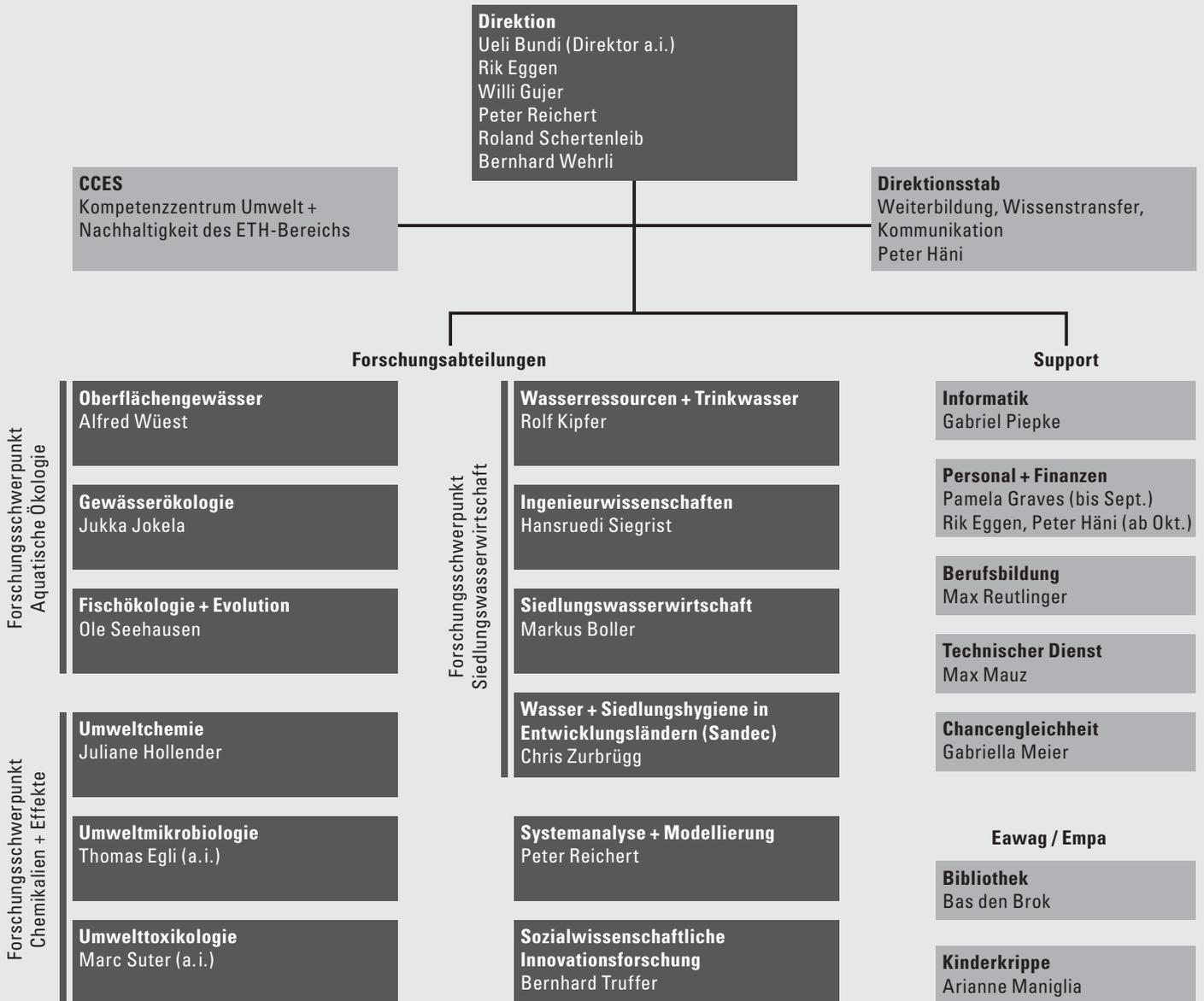
Ueli Bundi, Eawag Direktor a.i.
von 2004 bis Ende 2006



Der neue Kinderpavillon mit Spielgelände – die Tagesstätte für den Nachwuchs der Eawag- und Empa-Angestellten.

¹ Der Bezug von 2000 Watt Dauerleistung pro Person bezieht sich auf alle Lebensbereiche, nicht nur die Arbeitsstelle. Aktuell beträgt dieser Wert in der Schweiz 5000–6000 Watt.

Organisation



Stand 31.12.2006

Beratende Kommission



André Bachmann
(Präsident)
Direktor BMG
Engineering AG,
Schlieren



Ursula Brunner
Rechtsanwältin,
Ettler Brunner Suter
Bächtold, Zürich



Erika Forster
(ab Juni 2006)
Ständerätin,
St. Gallen



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



Claude Martin
(bis November 2006)
Directeur Général
WWF – World Wide
Fund for Nature,
Gland



Jürg Meyer
Präsident VSA,
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute, Zürich



Bruno Oberle
Direktor Bundesamt
für Umwelt (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



Isabel Wiedmer
Wissenstransfer



Andri Bryner (a.i.)
Kommunikation

Forschungsabteilungen



Alfred Wüest



Jukka Jokela



Ole Seehausen



Juliane Hollender



Thomas Egli (a.i.)



Marc Suter (a.i.)



Rolf Kipfer



Hansruedi Siegrist



Markus Boller



Chris Zurbrügg



Peter Reichert



Bernhard Truffer

Support



Gabriel Piepke



Pamela Graves
(bis 30.9.2006)



Max Reutlinger



Max Mauz



Gabriella Meier



Bas den Brok



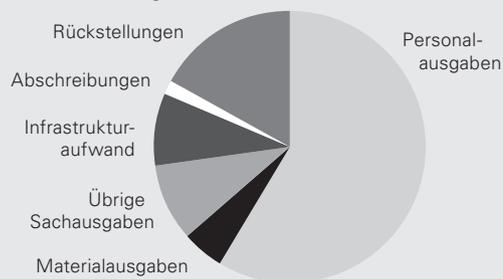
Arianne Maniglia

Finanzen

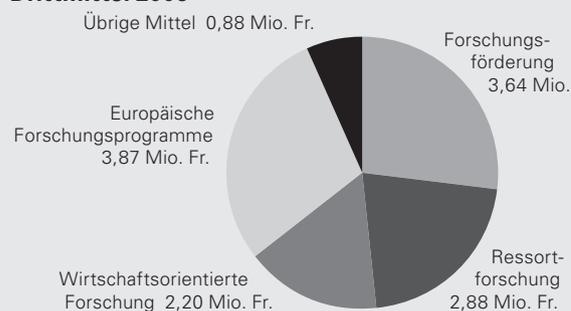
Erfolgsrechnung	2004	2005	2006
Personal	33 176 228	33 136 459	35 203 743
Material	2 010 300	2 310 907	2 911 752
Übriger Sachaufwand	4 836 881	5 051 942	5 556 131
Infrastrukturaufwand	3 296 021	3 399 665	5 160 395
Abschreibungen	1 198 857	1 029 614	871 718
Rückstellungen	7 068 173	19 660 190	10 088 456
Aufwand	51 586 460	64 588 777	59 792 195
Bundesbeitrag	46 645 700	46 624 468	49 795 822
Drittmittel	9 366 328	10 293 942	13 481 019
Diverse Erlöse	620 832	1 110 280	1 010 742
Auflösung Rückstellungen	0	0	0
Ertrag	56 632 860	58 028 690	64 287 583
Ergebnis	5 046 400	-6 560 087	4 495 388

Investitionen	2004	2005	2006
Immobilien	6 809 532	18 463 636	6 883 301
Mobilien	1 305 748	2 259 269	2 439 510
Informatik	191 538	206 740	47 821

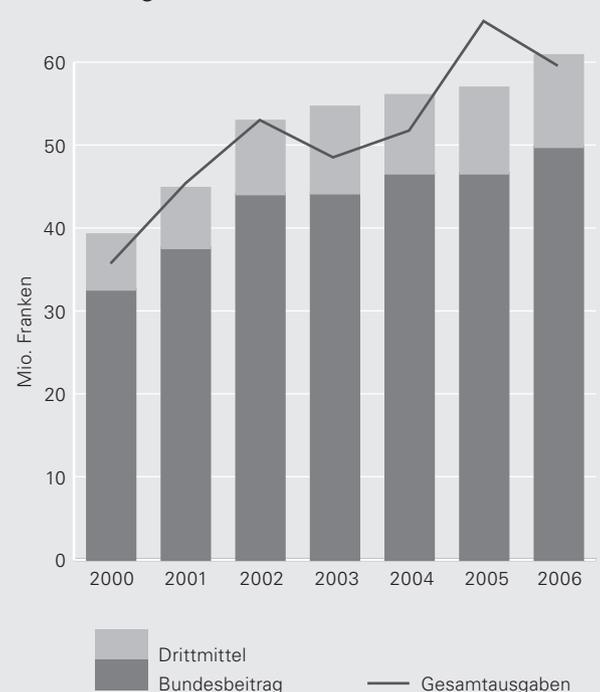
Ausgabenverteilung 2006



Drittmittel 2006



Entwicklung 2000–2006



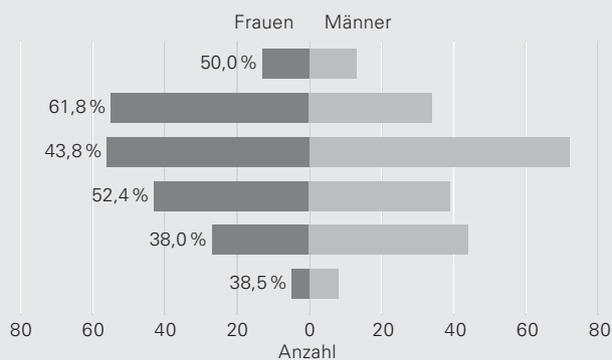
Personen

Personal	Personen	davon Frauen	davon AusländerInnen	Vollzeit-äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren ¹	4	0	2	4
Titularprofessorinnen und -professoren	13	2	5	13
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	155	56	80	123
Doktorandinnen und Doktoranden	71	35	36	66,6
Technisches Personal	82	41	10	63,9
Administratives Personal	61	51	7	38,9
Lernende	27	14	1	27
Praktikantinnen und Praktikanten ^{1,2}	14	8	11	13,8
Angeschlossene Mitarbeitende (Kindekrippe) ¹	12	12	0	10,4
Total	439	219	152	360,6

¹ nicht direkt von der Eawag angestellt.

² nur von Eawag entlohnte Praktika; insgesamt 2006: 61.

Altersstruktur	Frauen	Männer	Total
15–19	13	13	26
20–29	55	34	89
30–39	56	72	128
40–49	43	39	82
50–59	27	44	71
60–65	5	8	13
Total	199	210	409



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49%	26	10	36
50–79%	48	16	64
80–99%	34	17	51
100%	91	167	258

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	132	138	270
EU-Länder	52	54	106
übriges Ausland	15	18	33

Aktivitäten

	2004	2005	2006
Betreute Dissertationen	117	105	107
Betreute Diplomarbeiten	51	97	104
Publikationen in referierten Zeitschriften	142	186	194
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	52	47	49
Spin-offs	2	–	1
Patente, Lizenzverträge	2	–	–
Dienstleistungsaufträge	41	39	38
Preise	15	8	24
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	81	85	93
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	20	31	37
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	11	10	10
Peak-Kurse (Weiterbildung)	8	9	6
Fachtagungen	28	39	45
Mitarbeit in Kommissionen	162	180	201

Detailliertere Angaben und die Jahresberichte zum Download unter www.eawag.ch/jahresbericht.

Dieser Jahresbericht zeigt nur einen kleinen Ausschnitt aus
Forschung, Lehre und Beratung an der Eawag,
er ist auch in Englisch erhältlich.
Alle Publikationen von Eawag-Mitarbeitenden können online
eingesehen oder via E-Mail bestellt werden.
<http://library.eawag-empa.ch>
library@eawag-empa.ch

Über die Suchfunktion auf der Homepage www.eawag.ch können
die E-Mail-Adressen aller Mitarbeitenden abgefragt werden.

Impressum
Redaktion und nicht gezeichnete Texte: Andri Bryner
Alle nicht gezeichneten Bilder: Eawag
Grafiken: Yvonne Lehnhard
Gestaltung: TBS Identity, Zürich
Layout: SLS Peter Nadler, Küsnacht
Druck: Huber PrintPack AG, Frauenfeld
Copyright: Eawag, Mai 2007.
Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2006».
Belegexemplare an: Eawag, Kommunikation, Postfach 611,
8600 Dübendorf, Schweiz

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

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



eawag
aquatic research **ooo**

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

