

Jahresbericht 2007





Die Eawag ist das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Zu diesem gehören neben den beiden Hochschulen ETH Zürich und EPF Lausanne die vier selbstständigen Forschungsinstitutionen Empa, PSI, WSL und Eawag. Die Eawag befasst sich – national verankert und international vernetzt – mit Konzepten und Technologien für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser und den Gewässern. In Zusammenarbeit mit Hochschulen, weiteren Forschungsinstitutionen, öffentlichen Stellen, der Wirtschaft und mit Nichtregierungsorganisationen trägt die Eawag dazu bei, ökologische, wirtschaftliche und soziale Interessen an den Gewässern in Einklang zu bringen. Sie nimmt damit eine Brückenfunktion wahr zwischen Wissenschaft und Praxis. An den Standorten Dübendorf (Zürich) und Kastanienbaum (Luzern) sind insgesamt gut 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig in Forschung, Lehre und Beratung.

Umschlag

Pilotanlage für die Ozonierung des bereits gereinigten Abwassers auf der Kläranlage Regensdorf. Die Ozonierung kann 90 Prozent der verbliebenen Toxizität reduzieren. Im Projekt MicroPoll untersucht die Eawag mit verschiedenen Partnern unter Leitung des Bundes, ob eine solche zusätzliche Reinigungsstufe sinnvoll ist.

Bild: Andri Bryner. Artikel: Seite 9.

Inhalt

- 2 Wasserforschung mit spürbarer Wirkung: Janet Hering
- 4 Partnerschaft fördern

6–21 Chemikalien und Effekte

- 9 Kläranlagen klären nicht alles
- 13 Belastungsspitzen mitberücksichtigen
- 14 Wohin mit dem Spitalabwasser?
- 15 Nitrosamine im Wasserkreislauf
- 16 Koffein als Zeiger, wo Gewässerschutz am meisten bringt
- 18 Ein Plastikstreifen anstelle eines Fisches?
- 19 Versteinertes Wasser als Klimaarchiv
- 20 Arsen und Uran im griechischen Grundwasser
- 21 Psychologie der Sandfilternutzung

22–35 Aquatische Ökosysteme

- 25 Schweizerisch-chinesische Zusammenarbeit auf dem Jangtse
- 28 Künstliche Hochwasser verbessern die Ökologie
- 29 Der Klang der Flüsse
- 30 Wie naturnah ist die revitalisierte Thur?
- 31 Europas Flüsse unter Druck
- 32 Wenn die Umwelt Artengrenzen setzt
- 33 Schmarotzer und redliche Schaffer in Mikroökosystemen
- 34 Klimawirksame Blähungen des Wollensees
- 35 Kivu-See: Zeitbombe oder Energiequelle?

36–51 Siedlungswasserwirtschaft

- 39 Die Betroffenen zu Beteiligten machen
- 42 Fäkalschlamm: Gesundheitsrisiko oder Ressource?
- 43 Fachkompetenz an Ort und Stelle
- 44 Krankheitserreger schnell nachweisen
- 45 Hilfe für die Helfer – ein Handbuch für den Katastropheneinsatz
- 46 Zu viele Nährstoffe im Tha Chin
- 47 Wenn das Trinkwasser modrig riecht
- 48 Kläranlage bald ein Kraftwerk?
- 49 Strassendreck im Kaffeefilter auffangen
- 50 Zukunft denken: Abwasserwirtschaft strategisch planen

- 53 Die Eawag durch das Jahr 2007
- 58 Bücher aus dem Wasser gefischt
- 58 Auf hohem Niveau satt
- 59 Den Kindern ist es wohl
- 59 Umweltfreundlich mobil
- 60 Organisation
- 62 Finanzen
- 63 Personen
- 64 Aktivitäten

Wasserforschung mit spürbarer Wirkung



Probleme mit schäumenden Flüssen sind in den meisten Industrieländern Vergangenheit. Dennoch fordern neue oder neu nachweisbare Chemikalien die Wasserforschung und die Wasserwirtschaft laufend heraus. Vor akuten Problemen mit sicheren Wasserversorgungen und der Siedlungshygiene stehen die Entwicklungsländer. Die Eawag unterstützt mit ihrer Forschung sowie einem neuen Partnerschaftsprogramm die Millenniumsziele der UNO. Janet Hering

Wasser ist eine der Voraussetzungen für Leben auf unserem blauen Planeten. Vom fast ungestörten natürlichen Gewässer bis zum vollständig technisierten Abwasser-managementsystem hat Wasser Einfluss auf viele Lebensbereiche. Daraus ergeben sich für uns an der Eawag zahlreiche faszinierende Forschungsschwerpunkte.

Wasserqualität in den Industrieländern

In den Industrieländern sind die akuten Probleme mit der Wasserqualität, etwa durch Eutrophierung oder unkontrollierte Entsorgung von Abwässern, weitgehend gelöst. Die immer umfangreichere Verwendung von synthetischen Chemikalien hat jedoch dazu geführt, dass viele dieser Stoffe auch in der aquatischen Umwelt auftauchen und belastend wirken – zum Beispiel indem sie Organe oder Stoffwechselfvorgänge von Wasserorganismen schädigen. Verbesserte Strategien und Verfahren zur Eliminierung von Mikroverunreinigungen in Kläranlagen (S. 9) oder das Prüfen von Alternativen, zum Beispiel eines lokalen Klärsystems in Spitälern (S. 14), sind daher wichtige Themen der Eawag-Forschung.

Einsatz für bessere Lebensbedingungen

Mit dem Internationalen Jahr der sanitären Grundversorgung 2008 ruft die UNO die entscheidende Bedeutung guter sanitärer Bedingungen für die Gesundheit des Menschen in Erinnerung. Die Eawag engagiert sich seit Jahren erfolgreich für eine Verbesserung der Hygiene, sicheres

Trinkwasser und ein nachhaltiges Abfallmanagement in Entwicklungsländern – insbesondere durch die Tätigkeit der Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec). Der Leitfaden für eine integrale Verbesserung der Siedlungshygiene leistet mit Lösungen auf der Ebene der einzelnen Haushalte und der Quartiere einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Millenniumsentwicklungsziele der Vereinten Nationen (S. 39). In den letzten Jahren wurden die Forschungsaktivitäten in Entwicklungs- und Schwellenländern auf weitere Eawag-Abteilungen ausgedehnt: Studien zur Grundwasserqualität in Süd- und Südostasien, zur Qualität des Oberflächenwassers in China sowie zu den Möglichkeiten und Risiken der Energieerzeugung aus natürlich vorkommendem Methan im Kivu-See sind Beispiele dazu (S. 25, 35). Mit dem Eawag Partnership Program (EPP) fördern wir die Kooperation mit Studierenden und Forschenden aus Entwicklungs- und Schwellenländern (S. 4).

Die Betroffenen und die Gesellschaft einbeziehen

Wasser ist integraler Bestandteil des täglichen Lebens. Daher kommt dem Einbezug von Betroffenen und der Information über die Eawag-Forschung grosse Bedeutung zu. Das transdisziplinäre Projekt «Novaquatis» wurde mit einem gut besuchten Informationstag im März abgeschlossen. Ein Stand an der «muba» in Basel, unter anderem mit einer Präsentation zu «Sound of Rivers» (S. 29), kam bei der Öffentlichkeit gut an, und im Oktober wurde mit Hilfe der Eawag ein Buch mit wunderschönen

Illustrationen über den Vierwaldstättersee veröffentlicht. Weiterhin grosses Interesse besteht an unserem Neubau Forum Chriesbach – 2007 wurde das Haus zweimal von Mitgliedern des Bundesrates besucht.

Neue Tätigkeitsfelder

Natürlich packen wir auch laufend neue Forschungsbereiche an und arbeiten bereits an der Lösung von Problemen, die erst auf uns zukommen: Wie wird sich die Klimaveränderung auf die Wasserressourcen, die Wasserversorgung und die aquatischen Ökosysteme auswirken? Wie können sich Ökosysteme und die Gesellschaft dem Druck anpassen, den diese Veränderungen auslösen? Welche Folgen hat der boomende Einsatz von Nanomaterialien für die Umwelt? Wir forschen aktiv nach Antworten auf solche Fragen. Einen neuen Weg schlägt die Eawag 2008 zudem mit der Eröffnung des Zentrums für angewandte Ökotoxikologie ein. Das Zentrum soll grundlegende Bedürfnisse von Gesellschaft, Industrie und Behörden erfüllen, indem es praxisnahe Weiterbildung, Auftragsforschung und die ökotoxikologische Bewertung von Chemikalien anbietet.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Eawag können zu Recht stolz sein auf ihre Beiträge zu Wasserforschung und -technologie. Ihre Artikel erscheinen nicht nur in führenden wissenschaftlichen und technischen Zeitschriften, sie haben auch Einfluss auf die Entwicklung neuer Konzepte und Technologien. Ausserdem übernehmen Eawag-Forschende in der «Community» der Umweltwissenschaftler und -ingenieure eine führende Rolle: Sie organisieren Konferenzen, sitzen als Experten in Beratungsausschüssen, werden als Referenten geladen, sind als Gutachter tätig und durften auch 2007 eine ganze Reihe von Auszeichnungen entgegennehmen.

Auf den ersten Blick scheint dies wenig Bezug zu haben zu alltäglichen Fragen oder Sorgen, welche die Menschen rund um das Wasser haben. Aber nur mit einer starken Forschung kann die Eawag die Probleme mit gesellschaftlichen Auswirkungen angehen. Wir funktionieren als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis. Das ist ein zentrales Element unseres Auftrages. Und es motiviert uns, weil unsere Arbeit mithilft, die Umweltqualität und die Lebensumstände der Menschen zu verbessern. ○ ○ ○

Nur mit einer starken Forschung haben wir die Chance, auch Wasserprobleme zu lösen, die sich direkt auf die Gesellschaft auswirken.

Janet C. Herzig



Partnerschaft fördern

Mit ihrer Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern forscht die Eawag seit langem aktiv in und für Länder, in denen sauberes Trinkwasser und eine sichere Entsorgung von Abwasser und Fäkalien nicht zur Selbstverständlichkeit gehören. Auch andere Abteilungen haben sich in den letzten Jahren verstärkt mit Wasserproblemen in strukturschwachen Regionen befasst. Jetzt wird dieses Engagement gestärkt mit dem «Eawag Partnership Program for Developing Countries». Andri Bryner, Christoph Lüthi, Tom Gonser

Die Forschung in Entwicklungsländern ist für die Eawag eine wichtige Aufgabe. Wassermangel, Umweltverschmutzung, Übernutzung von Rohstoffen oder der Verlust an Biodiversität sind nur einige der Probleme, welche in den betroffenen Regionen zunehmend zur Herausforderung werden. Mit ihrem disziplinenübergreifenden Ansatz und dem Netz von Wissenschaftern und Partnerinstituten im Süden und Osten kann die Eawag-Forschung immer wieder praxisnahe Lösungen anbieten.



Fotos: Eawag

Fabrice Amisi ist Masterstudent aus der Demokratischen Republik Kongo. Er arbeitet in der Abteilung Oberflächengewässer an der Quantifizierung externer Nährstoffquellen im Kivu-See. Das erfordert die Bemessung und Beprobung der Zuflüsse wie im Bild (siehe auch Seite 35).

Forschungsstipendien für 3 bis 4 Monate

Jetzt baut die Eawag ihre bestehenden Forschungs- und Ausbildungsaktivitäten auf diesem Gebiet weiter aus und startet das «Eawag Partnership Program» (EPP). Es will vor allem die Fachkompetenz in Entwicklungsländern stärken. Im Zentrum der EPP-Aktivitäten steht das Fellowship Program. Dieses gibt jährlich sechs talentierten Studentinnen und Studenten aus Entwicklungsländern, vorzugsweise Doktorierenden, die Chance, an der Eawag während drei bis vier Monaten eine wissenschaftliche Arbeit durchzuführen. Daneben besteht das EPP aus einem Programm für Besuche bereits erfahrener Forscher und Spezialisten, der Partnerschaft mit dem Unesco

Wasserforschungs- und Ausbildungszentrum IHE in Delft (Niederlande) sowie einem Modul, mit dem speziell die Lehre gefördert wird.

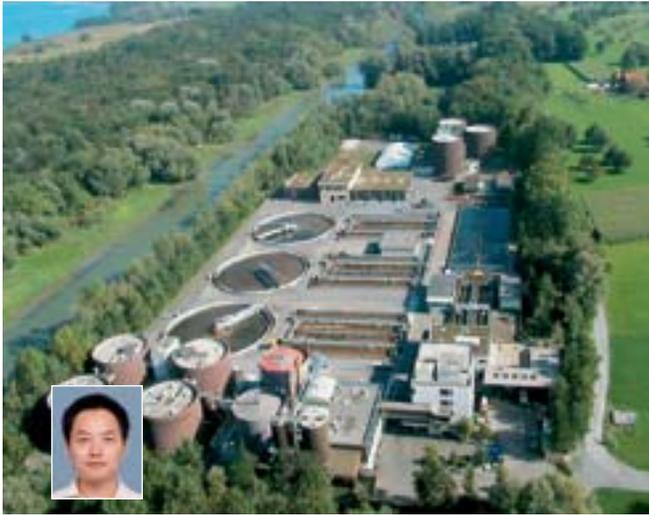
Die Forschungsstipendien müssen mit einem Projekt einer Eawag-Abteilung oder eines erfahrenen Wissenschafters an der Eawag verknüpft sein. Damit wird sichergestellt, dass auch die Eawag vom Austausch profitiert. Die Aufgabenstellung muss ausserdem entwicklungspolitisch relevant sein, und es kommen nur Bewerberinnen oder Bewerber in Frage, welche eine gute wissenschaftliche Qualifikation nachweisen können. Im EPP-Wahlkomitee sind sechs Abteilungen vertreten sowie Direktorin Janet Hering. Die ersten drei Bewerbungen für ein EPP-Fellowship wurden im März 2008 gutgeheissen: Es sind ein Masterstudent aus Kongo und zwei Doktoranden aus Ghana und China.

Besuchsprogramm für Spezialisten

Mit dem «Visiting Scientist Program» sollen hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie Fachspezialisten aus Entwicklungsländern die Gelegen-



Noah Adamtey schliesst in der Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern seinen Doktor ab zum Thema «Anreicherung von Co-Kompost für peri-urbanen Maisanbau in Ghana». In der Co-Kompostierung werden organische Abfälle und Fäkalenschlämme gemeinsam kompostiert. Unter kontrollierten Bedingungen werden dabei die Krankheitserreger unschädlich gemacht, so dass am Ende der Kompost gefahrlos in der Landwirtschaft eingesetzt werden kann. In Zusammenarbeit mit der örtlichen Universität und den städtischen Behörden hat die Eawag in Kumasi (Ghana) eine Co-Kompostieranlage als Pilotprojekt initiiert (siehe auch Seiten 42, 43).



Tao Zhang hat bisher an der Nankai Universität im chinesischen Tianjin geforscht. Er wird seine Dissertation in der Eawag-Abteilung Umweltchemie in Zusammenarbeit mit der Empa fortsetzen, zu perfluorierten Kohlenstoffverbindungen (PFC) im Abwasser und in natürlichen Gewässern. PFC's stammen unter anderem aus schmutz-, fett- und wasserabweisenden Beschichtungen oder speziellen atmungsaktiven Geweben. Sie wirken toxisch und werden in der Natur oder in der Abwasserreinigung kaum abgebaut.

heit erhalten, ihre Projekte und Resultate an der Eawag vorzustellen und mit den Forschenden hier in einen Dialog zu treten. Das bietet Eawag-Mitarbeitenden gleichzeitig die Chance, neue Projekte im Kontext von Entwicklungs- und Schwellenländern anzugehen und Kontakte zu möglichen Forschungspartnern zu knüpfen.

Tradition mit IHE-Partnerschaft fortsetzen

Die Partnerschaft der Eawag mit dem Wasserforschungs- und Ausbildungszentrum IHE der Unesco besteht bereits seit 14 Jahren. Sie wird nun in das EPP integriert. Jeweils drei Masterstudentinnen oder -studenten des IHE, die aus Entwicklungsländern stammen, sollen ihre Arbeit an der Eawag fortsetzen. In der Regel dauert dieser Austausch ein halbes Jahr und umfasst auch Feldforschung im Heimatland der Studierenden. Denn Bedingung ist auch hier, dass die Forschungsthemen für das Herkunftsland der Studierenden von praktischem Nutzen sind. Wie das funktionieren kann, zeigt der Bericht des Studenten Mingma Sherpa, der sein an der Eawag erworbenes Wissen nun in seiner Heimat Nepal einsetzt (siehe Box).

Ausbildung unterstützen

Die vierte Säule im EPP besteht in der Förderung der Ausbildung von Spezialistinnen und Spezialisten am Ort. Die Eawag mit sehr vielen in der Lehre engagierten Wissenschaftlern kann hier auf ein breites Know-how zurückgreifen. Konzepte für Lehrgänge, aber auch Unterstützung in der Produktion von Kursmaterial zählen genauso dazu wie die Möglichkeit, dass Eawag-Forschende ein Kursmodul oder eine Vorlesungsreihe in einer Partnerinstitution gleich selbst bestreiten. Der Aufbau von Fachkompetenz fördert schliesslich auch die Forschungszusammenarbeit (siehe auch Seite 43). www.eawag.ch/ep

Mingma Sherpa über seine Arbeit

Meinen ersten Kontakt zur Eawag hatte ich 2002, als in Nepal das Sodis-Programm (solare Wasserentkeimung in PET-Flaschen) umgesetzt wurde. Ich habe mitgeholfen, die Effizienz von Sodis in verschiedenen Höhenlagen Nepals zu testen – von den Hängen des Himalayas bis hinunter in die Ebenen des Südens. Ich habe zuerst als Forscher gearbeitet und später als Projektkoordinator für das Sodis-Promotions-Programm einer nepalesischen Hilfsorganisation. 2003 erhielt ich die Möglichkeit, am Wasserforschungsinstitut IHE der Unesco im niederländischen Delft ein Masterdiplom in Umweltwissenschaft zu erlangen.

Während dieser Masterarbeit habe ich erneut mit der Eawag zusammengearbeitet, denn es ging um das Management von Fäkalschlämmen im Kathmandu-Tal. Dank der kompetenten Betreuung durch Martin Strauss und Doulaye Kone aus der Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern sowie mit Hilfe von Roshan Shrestha, meines Betreuers vom UNO-Siedlungsprogramm Habitat in Nepal, konnte ich das Diplom am IHE erfolgreich abschliessen. Diese Zusammenarbeit zwischen IHE, Eawag und UNO hat viele Vorteile: Obwohl ich an einem Institut in Holland eingeschrieben war, erhielt ich so die Unterstützung der besten Fachleute auf dem Gebiet des Fäkalschlamm-Managements. Ich konnte an einem Thema arbeiten, das mich sehr interessiert und das zuvor bei mir zu Hause kaum erforscht war. Meine Arbeit trägt nun langsam Früchte, zum Beispiel wurden Ergebnisse daraus von UN-Habitat eingebaut in eine Strategie des Fäkalschlamm-Managements für die Region Bagmati. Ich selbst arbeite seit 2006 wieder in derselben Organisation in Nepal als Programmmanager im Abwasser- und Sanitärbereich. Ich bin beteiligt an der Planung einer Wasserversorgung und einem integrierten Programm für die Verbesserung der Siedlungshygiene für eine Gemeinde mit 6000 Einwohnern in der Nähe von Kathmandu. Zusammen mit der Gemeinde haben wir es dank einer intensiven Kampagne – unter anderem mit über 100 Komposttoiletten und weiteren Toiletteneinrichtungen – geschafft, dass die Einwohner ihr Geschäft nicht mehr im Freien verrichten. In den Haushalten haben wir zudem Kompostkübel verteilt, die gut genutzt werden. Unterdessen bin ich im Bereich Wasser und Siedlungshygiene auch mitverantwortlich für die Koordination weiterer Programme unserer Organisation und für das Budget in diesem Sektor und versuche, nebenbei am Asian Institute of Technology in Bangkok meine Dissertation voranzutreiben.



Mingma Sherpa bei einem Workshop zur Verbesserung der Siedlungshygiene in Nepal.

Stoffe

Chemikalien und Effekte

Herbizide, Fungizide, Algizide, Desinfektions- und Putzmittel, Medikamente, Nanopartikel – die Liste von Substanzen, die in den Gewässern gefunden werden, wird immer länger. Sehr oft ist jedoch weder klar, woher die Stoffe genau kommen, noch welche Wirkung sie in der Umwelt haben. Die Eawag-Wasserforschung sucht nach Antworten darauf. Selbst wenn sie vorliegen, bedeutet das allerdings noch nicht, dass das Problem gelöst ist. Lohnt es sich beispielsweise, alle Abwasserreinigungsanlagen mit zusätzlicher Technik aufzurüsten? Oder lassen sich problematische Stoffeinträge mit anderen Massnahmen möglicherweise nachhaltiger vermeiden? Hier heisst es, wirtschaftliche, soziale und oft auch politische Aspekte mit einzubeziehen. Wir liefern die Grundlagen dazu.

Es gibt Leute, die sind zufrieden, wenn sie sehen, dass etwas funktioniert. Der Chemiker **Stephan Hug** zählt nicht zu ihnen. Er will wissen, wie «es» funktioniert. Das ist für einen Forscher normal. Doch Hug begnügt sich nicht mit einer unter sterilen Laborbedingungen erarbeiteten Theorie, wie in der universitären Forschung oft üblich. «Man muss die reale Umwelt erforschen, dort steckt der Schlüssel zum Verständnis», ist er überzeugt und sieht darin eine der grossen Stärken der Eawag. Oft liefern nämlich, so Hug, die entscheidenden Prozesse an Grenzflächen ab – zum Beispiel an feinsten, im Wasser suspendierten Partikeln. «Wird nur mit reinen Stoffen gearbeitet, kommt man nie dahinter.» Einst hat der heute 50-Jährige eine Lehre als Chemielaborant gemacht. Über einen Fachhochschulabschluss und die Uni Bern ist er zum Akademiker geworden. An der University of California hat er doktriert und an der renommierten Stanford University gearbeitet. Doch nie hat der Spezialist für fotochemische und oberflächenphysikalische Prozesse das Ziel aus den Augen verloren,



das Wissenschaft über den Weg des Verstehens irgendwann auch zu Anwendungen führen muss. Denn Licht und Oberflächenreaktionen können giftige Elemente zu ungiftigen umwandeln, ebenso aber auch problematische Stoffe freisetzen. So hat Stephan Hug an der Eawag daran geforscht, wie UV-Licht nicht nur Keime abtötet – wie im Sodis-Verfahren zur solaren Wasserdesinfektion –, sondern wie es auch Schadstoffe wie Arsen oder Chrom(VI) unschädlich machen kann. Die fotochemische Wasserreinigung muss in diesem Bereich aber noch weiter entwickelt werden. In der Praxis stehen hingegen unter anderem die in der Gruppe von Hug erforschten Prozesse, welche in Sandfiltern in Bangladesch, Vietnam oder auch in Griechenland (Seiten 19, 20) Arsen aus dem Trinkwasser entfernen.

Die Umweltingenieurin **Nathalie Vallotton** (30) stammt aus Lausanne und ist verwandt mit dem Maler Felix Vallotton – danach wird sie nämlich oft gefragt. Ihr Thema sind Risikoabschätzungen. Solche hat sie bereits in ihrer Diplomarbeit an der EPFL durchgeführt; damals ging es um das Sickerwasser aus einer Mülldeponie in Ho-Chi-Minh-Stadt (Vietnam). In der Abteilung Ökotoxikologie an



der Eawag hat Nathalie Vallotton dann eine Doktorarbeit gemacht über die Effekte kurzzeitiger Konzentrationsspitzen von Herbiziden auf Algen (*Seite 13*). Ein Dokortitel war nicht von Anfang an ihr Ziel, aber sie habe gemerkt, dass die Dissertation

die beste Art sei, sich in Ökotoxikologie weiterzubilden. Heute ist sie Spezialistin auf ihrem Gebiet und «ein Stück weiter, diese Effekte abschätzen zu können, um die beobachteten Effekte zu verstehen und die Qualität der Gewässer zu verbessern», wie sie es formuliert. Denn weil es schwierig ist, die kurzen Konzentrationsspitzen mit Probenahmen überhaupt zu erfassen, gab es bisher auch kaum verlässliche Aussagen über die Wirkung solcher Pulse, wie sie übrigens nicht nur aus der Landwirtschaft, sondern auch aus dem Verkehr oder der Siedlung auftreten. Die passionierte Reiterin begnügt sich indessen nicht mit dem blossen Erkenntnisgewinn: Dank der Zusammenarbeit der Eawag mit Behörden und landwirtschaftlichen Forschungsanstalten sind bereits Massnahmen ergriffen worden, die mithelfen, Gewässerbelastungen durch Agrochemikalien zu vermeiden – etwa eine verstärkte Ausbildung von Landwirten im Umgang mit diesen Stoffen. Ein praxisnahes Anliegen anderer Art erwähnt Vallotton zum Schluss: «Man sollte mehr Französisch sprechen an der Eawag.»

Eine Prognose, wann wie viel Schmutzstoffe durch die Kanalisation rauschen, sei kaum möglich, hat man **Christoph Ort** mehrfach versichert. «Nicht einmal Tagesfrachten galten als vorhersagbar», sagt der 33-jährige Kulturingenieur. Durch die geschickte Verknüpfung von chemischer Analytik und einem stochastischen Modell hat Ort es in seiner Dissertation geschafft, dieses Manko zu beheben. «Die offenen Türen an der Eawag haben mir dabei sehr geholfen», erzählt er von seinem Anklopfen bei verschiedensten Abteilungen. Heute stimmen seine

Prognosen gut mit den aufwändigen Einzelmessungen überein und können sogar Spitzen im Minutenbereich aufdecken. Im Projekt MicroPoll des Bundesamtes für Umwelt (Bafu) hat Ort nun als Eawag-Postdoktorand die Chance erhalten, sei-



nen disziplinenübergreifenden Ansatz gleich im grossen Massstab umzusetzen: In einem nationalen Stoffflussmodell (*Seite 9*) hat er für sämtliche Kläranlagen vorhergesagt, welche Schadstofffrachten zu erwarten sind und wo bei Trockenwetter die Einleitung des gereinigten Abwassers in Bäche kritisch sein könnte – über hundert Anlagen sind davon betroffen. Müssen diese nun alle mit noch mehr Technologie nachgerüstet werden? Ort zitiert den Grundsatz: «So einfach wie möglich, so komplex wie nötig.» Und parallel zu allen technischen Massnahmen sei auf jeden Fall ein bewussterer Umgang mit potenziell umweltgefährdenden Stoffen anzustreben. Dank des Pilotversuchs des Bafu in der Kläranlage Regensdorf steht Ort bereits mitten in einer Umsetzung. Gereinigtes Abwasser wird vor der Rückgabe in einen kleinen Bach ozoniert. «Es ist spannend, zu den Ersten zu gehören, die so etwas im Massstab 1:1 durchführen können», sagt er, und man spürt die Neugier des Wissenschaftlers, «ganz unabhängig davon, ob es später zur allgemeinen Praxis wird oder nicht.»



Kläranlagen klären nicht alles

Organische Mikroverunreinigungen wie Inhaltsstoffe von Putzmitteln oder Wirkstoffe aus Medikamenten werden in Abwasserreinigungsanlagen nicht vollständig abgebaut. Sie gelangen in Bäche, Flüsse und Seen, wo sie negative Folgen auf das Ökosystem haben können. Im Projekt MicroPoll wird nun erforscht, welche Gegenmassnahmen Sinn machen, darunter auch eine weitere Reinigungsstufe für Abwasserreinigungsanlagen mit ersten positiven Resultaten. Christoph Ort, Hansruedi Siegrist, Juliane Hollender und Beate Escher

Die repräsentative Probenahme und Quantifizierung einer Vielzahl von organischen Mikroverunreinigungen ist sehr aufwändig. Mit vernünftigem, auch finanziell vertretbarem Aufwand kann man immer nur einen zeitlich und geografisch begrenzten «Schnappschuss» aufnehmen. Online-Messgeräte, also Geräte, welche diese Stoffe laufend direkt im Gewässer analysieren könnten, gibt es (noch) nicht. Und selbst wenn sie verfügbar wären, könnten sie nur den Ist-Zustand erfassen, aber keine Prognosen machen.

Darum haben wir ein schweizweites Stoffflussmodell entwickelt [1]. Es beschreibt die aktuelle Gewässerbelastung durch ausgewählte Mikroverunreinigungen unterhalb der 742 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) mit mehr als 500 Einwohnergleichwerten. Zudem können mit dem Modell Zukunftsszenarien berechnet und Kosten-Nutzen-Analysen erstellt werden. Als wichtigste Eingangsgrößen verwenden wir die Verbrauchsmengen der untersuchten Substanz und Daten zu den ARA. Dies sind u. a.

die Anzahl angeschlossene Einwohner, die Einleitstelle des gereinigten Abwassers ins Gewässer und die Eliminationsleistung für die fragliche Substanz. Zudem nutzen wir Informationen über die Verwendung und das Verhalten der Stoffe wie die verschriebenen Dosen und die bekannten Ausscheidungsraten.

Beispiel Carbamazepin

Mehrere Studien, auch unsere eigene, belegen, dass ARA das gegen Epilepsie angewandte Medikament Carbamazepin heute praktisch nicht eliminieren. Unter der Annahme dass der menschliche Körper im Durchschnitt knapp 10% des verabreichten Carbamazepins unverändert ausscheidet und in den natürlichen Gewässern kein Abbau stattfindet, berechnet das Modell die im Jahresmittel zu erwartenden Massenflüsse. In Abb. 1 sind die Modellresultate aus 26 unterschiedlich grossen Flusseinzugsgebieten den gemessenen Werten gegenübergestellt. Bis auf wenige Ausnahmen stimmen Modell und Realität gut überein. Eine Streuung um den Faktor 2 ist

Mikroverunreinigungen können sich in den Organen von Fischen, im Bild ein Alet, anreichern oder, wie im Fall von hormonaktiven Substanzen, zu Veränderungen der Geschlechtsorgane führen (Bayerisches Landesamt für Umwelt). Oben: Abfischen am Furtbach oberhalb der Einleitung des geklärten Abwassers von der Abwasserreinigungsanlage Regensdorf.

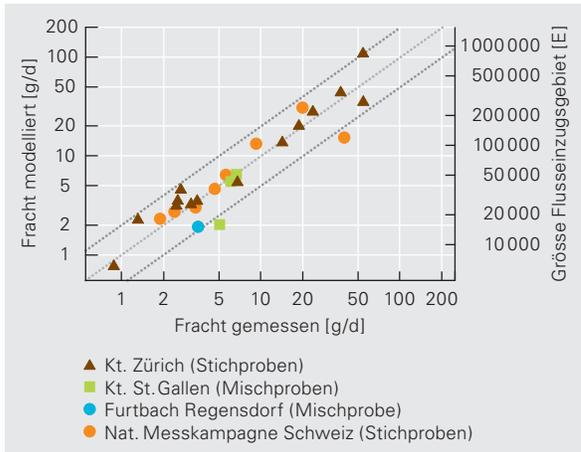


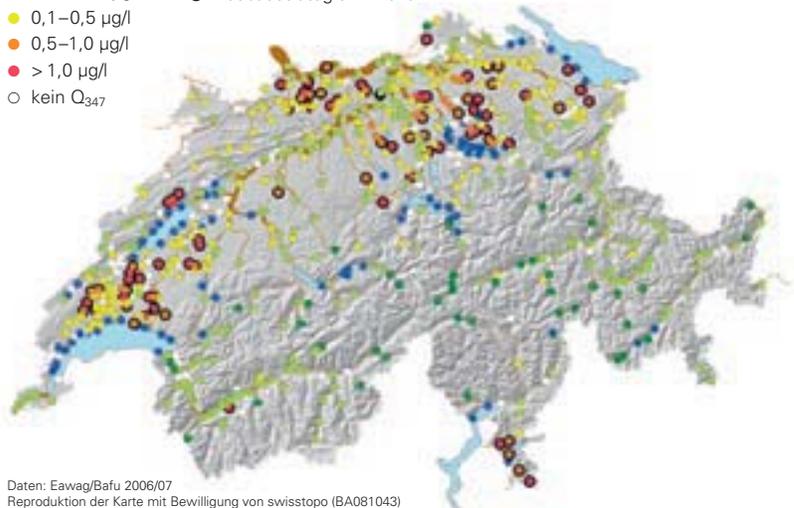
Abb. 1: Tagesfrachten für Carbamazepin in 26 Flusseinzugsgebieten. Die gestrichelten Linien markieren eine Abweichung um Faktor 2 zwischen Modellvorhersage und gemessenen Werten.

für Haushaltchemikalien und Medikamente nicht unüblich und entspricht der zu erwartenden zeitlichen Variabilität an einem Standort [3].

Abb. 2 gibt einen Überblick für das totale Carbamazepin-Risikopotenzial beim Niederwasserabfluss Q_{347} . Dieser Abfluss wird in 95 % der Zeit erreicht oder überschritten. Wo keine Abflussmessungen unterhalb der ARA verfügbar waren, sind die Werte interpoliert. Die Resultate zeigen in Flüssen und Bächen unterhalb von knapp 100 der 742 grösseren Schweizer ARA eine Überschreitung der von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), in Deutschland vorgeschlagenen Qualitätsnorm für Carbamazepin von $0,5 \mu\text{g/l}$. Der Niederwasserabfluss Q_{347} stellt einen «worst case» dar, weil die Verdünnung des geklär-

Carbamazepin und Metaboliten bei Q_{347}

- $< 0,01 \mu\text{g/l}$
- $0,01-0,1 \mu\text{g/l}$
- $0,1-0,5 \mu\text{g/l}$
- $0,5-1,0 \mu\text{g/l}$
- $> 1,0 \mu\text{g/l}$
- kein Q_{347}
- Einleitung in See
- Ausbaustrategie «Effekt»



Daten: Eawag/Bafu 2006/07
Reproduktion der Karte mit Bewilligung von swisstopo (BA081043)

Abb. 2: Modelliertes Carbamazepin-Risikopotenzial bei Niederwasser Q_{347} . Schwarz umrandet sind Abwasserreinigungsanlagen, die ausgebaut werden müssten, damit die Carbamazepin-Konzentrationen (inkl. Metaboliten) in den Oberflächengewässern nirgends über $0,5 \mu\text{g/l}$ steigen.



Die Ozonierung des bereits gereinigten Abwassers kann 90 % der verbliebenen Toxizität reduzieren.

ten Abwassers im Gewässer dann gering ist. Wie lange die Qualitätsnorm im Einzelfall tatsächlich überschritten wird, hängt stark vom Jahresverlauf des Abflusses im jeweiligen Gewässer ab. Abb. 3 zeigt die drei Flüsse Töss, Ergolz und Seyon, welche in einer Messkampagne (10 Flüsse und 15 ARA) zur Überprüfung des Stoffflussmodells beprobt wurden. Die im Mittel erwarteten Carbamazepinfrachten führen zu einer Überschreitung der Qualitätsnorm zwischen null bzw. wenigen Tagen und mehreren Monaten pro Jahr. Die Überschreitungsdauer variiert stark von Jahr zu Jahr. Spitzen ergeben sich in Jahren mit langen Trockenperioden wie 2003 mit dem Hitzesommer.

Ausbaustrategien

Sollen die Zeiten mit tendenziell zu hohen Belastungen in den Gewässern reduziert werden, müssten diese ARA mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe ausgestattet werden.

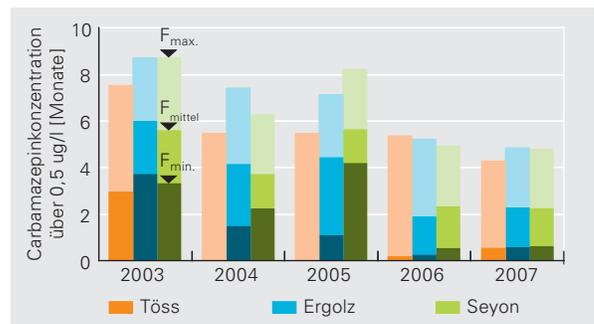


Abb. 3: Zeit, während der Carbamazepinkonzentrationen von $0,5 \mu\text{g/l}$ theoretisch überschritten wurden. Die Werte F_{max} und F_{min} entsprechen den Überschreitungsdauern bei doppelter bzw. halber zu erwartender Carbamazepinfracht F_{mittel} .

Pilotstudien im kleinen Massstab zeigen: Viele Mikroverunreinigungen könnten mit Zugabe von Aktivkohle, einer Oxidation oder Filtration des gereinigten Abwassers zu 95 % und mehr eliminiert werden. Vorausgesetzt, es kann nicht mit Stoffverboten oder anderen Massnahmen an der «Quelle» verhindert werden, dass die Substanzen ins Abwasser gelangen, sind als Strategien denkbar:

► **Strategie «Effekt»:**

Es werden nur so viele ARA ausgebaut, damit flussabwärts die angestrebte Qualitätsnorm bei Niederwasser nicht mehr überschritten wird. Betroffen wären gut 80 Anlagen, an welche rund 10 % der Bevölkerung angeschlossen sind (siehe Abb. 2).

► **Strategie «Fracht»:**

Das Augenmerk wird, aufgrund des Vorsorgeprinzips, auf eine möglichst hohe nationale Frachtreduktion gelegt. Es werden nur ARA grösser 10000 Einwohnerwerte ausgebaut. Betroffen wären gut 250 Anlagen (rund 90 % der Bevölkerung). In etwa 40 Bächen unterhalb kleinerer ARA käme es aber nach wie vor zu Überschreitungen der Qualitätsnorm für Carbamazepin.

Was wir am Beispiel Carbamazepin aufgezeigt haben, gilt ähnlich für andere Mikroverunreinigungen: Im Fall des Schmerzmittels Diclofenac (schweizweiter Verbrauch rund 4000 kg pro Jahr, gem. IMS Health GmbH) errechneten wir sogar für über 170 ARA Konzentrationen, die bei Niederwasser über dem Qualitätsziel von 0,1 µg/l liegen.

1:1-Versuch in Regensdorf

Ob sich die Resultate der Pilotstudien auch im Massstab 1:1 erzielen lassen, wird zurzeit mit einer Ozonierung auf der ARA Wüeri im zürcherischen Regensdorf getestet. Zusätzlich sollen Erfahrungen gesammelt werden, wie hoch der Energiebedarf einer solchen zusätzlichen Reinigungsstufe im Grossmassstab ist und welche Anforderungen ihr Betrieb an das Personal einer kommunalen ARA stellt.

Die ARA Wüeri wurde als Testanlage gewählt, weil sie einem hohen Stand der Technik entspricht und am kleinen Furtbach steht. Mit starken Schwankungen im Tagesverlauf beträgt der Anteil Abwasser im Bach direkt unterhalb der ARA im Mittel 60 %, oder anders gesagt: Das einge-

MicroPoll

Der Begriff «Aquatische Mikroverunreinigungen» prägt zurzeit die Diskussionen über Gewässerbeurteilung, Trinkwasseraufbereitung und Abwasserreinigung stark. Aber sind organische Mikroverunreinigungen wie Inhaltsstoffe von Putzmitteln, Kosmetika oder Wirkstoffe aus Medikamenten in Konzentrationen von Milliardstel- bis Millionstelgramm pro Liter wirklich ein Problem? Im Rahmen des interdisziplinären Projektes MicroPoll, lanciert vom Bundesamt für Umwelt (Bafu), werden Grundlagen erarbeitet, um diese Frage fokussiert auf Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung zu beantworten. Ökotoxikolog/innen forschen mit dem Ziel, herauszufinden, welches problematische Schadstoffe sind und in welchen Konzentrationen sie (negative) Effekte auf Organismen haben. Chemiker/innen entwickeln Methoden, um Wasserproben möglichst genau auf diese Schadstoffe zu analysieren. Beide Anstrengungen liefern wertvolle Hinweise auf die aktuelle Belastungslage unserer Gewässer. Ziel ist eine schweizweite Strategie, um den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer zu verringern. Nebst dem Bafu und der Eawag arbeiten auch die ETH Lausanne, die kantonalen Umweltschutzämter sowie der Verband Schweizerischer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA an MicroPoll mit. Mehr Information unter www.umwelt-schweiz.ch/micropoll [2].

leitete ARA-Abwasser wird nur gerade um den Faktor 1,7 verdünnt. Abb. 4 zeigt am Beispiel Carbamazepin und Diazinon, wie die Konzentrationen von Mikroverunreinigungen im Furtbach nach der Einleitung des gereinigten Abwassers entsprechend stark ansteigen. Carbamazepin wird in der ARA praktisch gar nicht eliminiert, das Insektizid Diazinon nur teilweise.

Aufgrund des grossen Aufwandes kann immer nur eine begrenzte Anzahl Mikroverunreinigungen analysiert wer-

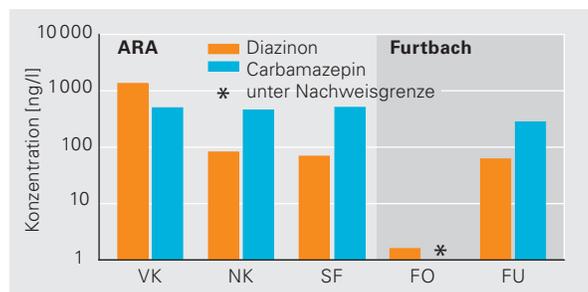


Abb. 4: Diazinon- und Carbamazepin-Konzentrationen einer einwöchigen Messkampagne auf der ARA Wüeri in Regensdorf [5]. VK = Ablauf Vorklämung, NK = Ablauf Nachklärung, SF = Ablauf Sandfilter, FO = Furtbach oberhalb ARA, FU = Furtbach unterhalb ARA. Abgeändert nach [5].



Das gereinigte Abwasser, das hier in den Furtbach zurückfliesst, wird vor allem bei Niederwasser nur wenig verdünnt.



ARA Regensdorf: Im Hintergrund der Tank mit dem Flüssigsauerstoff zur Ozonproduktion.

den, und die Wirkung von Mischungen ist weitgehend unbekannt. Ökotoxizitätstests, welche verschiedene toxische Wirkmechanismen berücksichtigen, erlauben es aber, die Reinigungsleistung von ARA umfassender zu beurteilen (siehe auch Box «Risikopotenzial»). Die Eawag hat in Regensdorf eine Auswahl von Ökotoxizitätstests angewendet [6].

Abb. 5 zeigt, wie die Toxizität von Mikroverunreinigungen im Abwasser durch die ARA reduziert wird – insgesamt um über 90 %, allerdings mit grossen Unterschieden, je nach Stoff und Wirkmechanismus. Die ersten Messungen nach Inbetriebnahme der Ozonierung belegen jetzt, dass die zusätzliche «Reinigung» die verbliebene Toxizität nochmals um 90 % reduzieren kann. Und ebenso wichtig: Es wurde bei keinem Ökotoxizitätstest eine Zunahme der Toxizität beobachtet. Das deutet darauf hin, dass bei diesem Verfahren keine toxischen Nebenprodukte entstehen.

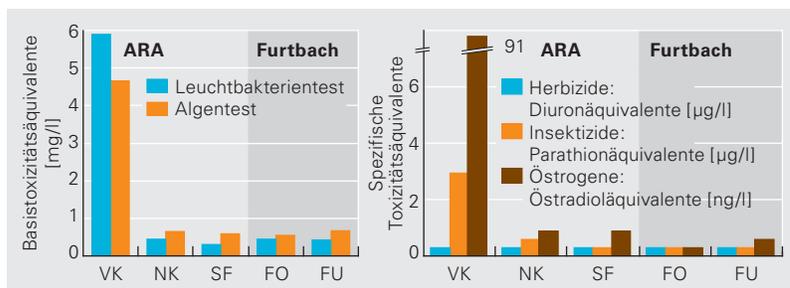


Abb. 5: Durchschnittliche Toxizität in der ARA Wüeri/Regensdorf, bestimmt mit einer ökotoxikologischen Testreihe während einer einwöchigen Messkampagne [6]. Links: Basistoxizität für eine grosse Gruppe von Stoffen (inkl. Carbamazepin); rechts: Äquivalente zum Beschrieb von spezifischen Mechanismen, z. B. Parathionäquivalente inkl. Beitrag des erwähnten Diazinon. VK = Ablauf Vorklärung, NK = Ablauf Nachklärung, SF = Ablauf Sandfilter, FO = Furtbach oberhalb ARA, FU = Furtbach unterhalb ARA.

Risikopotenzial

Um von einer gemessenen oder berechneten Konzentration im Gewässer auf das vorhandene Risiko schliessen zu können, muss das Risikopotenzial eines untersuchten Stoffes bekannt sein. Diese Grösse wird mit aufwändigen Ökotoxizitätstests im Labor experimentell bestimmt, zum Beispiel an Algen, Wasserflöhen oder Fischen. In der Regel resultiert daraus ein Konzentrationswert, unterhalb dessen höchstwahrscheinlich kein negativer Effekt an den jeweiligen Organismen auftritt, der PNEC (Predicted No Effect Concentration). Wichtig ist, dass nicht nur die Ausgangssubstanz, sondern auch Umwandlungsprodukte (Metaboliten) berücksichtigt werden. Im Fall des beschriebenen Medikaments Carbamazepin werden etwa 40 % des Wirkstoffs als Metaboliten ausgeschieden, welche im menschlichen Körper gebildet wurden. Diese erhöhen das Risikopotenzial um rund 25 % [4]. Ausserdem muss zwischen Basistoxizität eines Stoffes oder einer Stoffgruppe und spezifisch toxischen Wirkmechanismen – etwa hormonaktive oder insektizide Wirkung – unterschieden werden (siehe Abb. 5).

Diese Resultate wurden auch mit der chemischen Analytik einzelner Substanzen bestätigt und sind sehr ermutigend. Der Versuch in Regensdorf läuft bis Ende 2008. Bis dann werden unterschiedliche Betriebsweisen getestet und insbesondere die Steuer- und Regelungstechnik weiter optimiert. In Zusammenarbeit mit Gewässerschutzfachstellen, Ökotoxikolog/innen, Umweltchemiker/innen, Ingenieur/innen aus Forschung und Praxis sowie dem ARA-Personal werden damit wertvolle Entscheidungsgrundlagen für die Zukunft in der zentralen Abwasserreinigung gesammelt. ○ ○ ○

- [1] Ort C., Siegrist H., Hosbach H., Studer C., Morf L. und Scheringer M. (2007): Mikroverunreinigungen – Erarbeitung einer Strategie. *Gas Wasser Abwasser* 11, 853–859.
- [2] Schärer M., Müller S. und Sieber U. (2007): Mikroverunreinigungen – Erarbeitung einer Strategie. *Gas Wasser Abwasser* 11, 835–841.
- [3] Giger W., Schaffner C. and Kohler H.P.E. (2006): Benzotriazole and tolyltriazone as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes. *Environ. Sci. Technol.* 40 (23), 7186–7192.
- [4] Lienert J., Gudel K. and Escher B.I. (2007): Screening method for ecotoxicological hazard assessment of 42 pharmaceuticals considering human metabolism and excretory routes. *Environ. Sci. Technol.* 41 (12), 4471–4478.
- [5] Hollender J., Mc Ardell C.S. und Escher B.I. (2007): Mikroverunreinigungen: Vorkommen in Gewässern der Schweiz und Bewertung. *Gas Wasser Abwasser* 11, 843–851.
- [6] Escher B.I., Bramaz N., Quayle P., Rutishauser S. (2008): Monitoring of the ecotoxicological hazard potential by polar organic micropollutants in sewage treatment plants and surface waters using a mode-of-action based test battery. *J. Env. Monitor.* 10, 622–63.

Belastungsspitzen mitberücksichtigen

Herbizide aus dem Pflanzenbau gelangen vor allem bei starkem Regen von den Feldern auch in Gewässer-ökosysteme. Die stark schwankenden Konzentrationen werden von Routinemessungen kaum erfasst. Doch die Belastungsspitzen haben toxische Effekte, zum Beispiel auf Algen. Eine Anpassung des geltenden pauschalen Qualitätskriteriums drängt sich auf. Nathalie Vallotton, Rik I.L. Eggen, Nathalie Chèvre¹

Die Schweizer Gewässerschutzverordnung fordert, dass in Oberflächengewässern die Konzentration für kein organisches Pestizid höher als 0,1 µg/l liegen darf. Dieser Wert ist aus ökotoxikologischer Sicht unbefriedigend, weil ganz unterschiedlich wirkende Substanzen alle mit demselben Massstab beurteilt und Effekte von Pestizidmischungen gar nicht berücksichtigt werden. In kleineren Gewässern überschreiten die Konzentrationsspitzen zudem nicht nur dieses pauschale Qualitätskriterium, sondern auch neu vorgeschlagene Werte für einzelne Substanzen öfters – wenn auch nur zeitweilig.

Weit verbreitete Produkte

Konventionelle Tests im Labor untersuchen toxische Effekte in der Regel mit Algen oder Wasserpflanzen, welche mehrere Tage lang einer konstanten Konzentration ausgesetzt werden. Effekte, welche von einzelnen oder wiederholten Konzentrationsspitzen herrühren, werden nicht untersucht. Wir haben daher getestet, wie die Grünalge *Scenedesmus vacuolatus* auf verschiedene Belastungsmuster reagiert und wie gut sie sich jeweils wieder erholt. Wir haben drei Herbizide gewählt,

die unterschiedliche Wirkmechanismen haben: Photosystem-II-Inhibitoren (Atrazin und Isoproturon) und ein Chloroacetanilid (S-metolachlor), welches die Synthese von Fettsäuren behindert. Alle drei Produkte sind weit verbreitet im Getreide- und Maisanbau und werden auch regelmässig in Bächen festgestellt.

Sehr unterschiedliche Wirkung

Alle untersuchten Herbizide haben zunehmend toxische Effekte auf das Wachstum, je länger die Algen dem Mittel ausgesetzt sind und je höher die Konzentrationen sind. Der Anstieg der toxischen Wirkung schwankt aber stark, je nach Herbizidtyp. Grosse Zeitunterschiede zeigen sich auch, bis ein toxischer Effekt eintritt und bis sich die Algen nach einem Expositionspuls wieder erholen: Die Photosystem-II-Inhibitoren wirken schon innert weniger Stunden wachstumshemmend auf die Algen. Diese erholen sich aber fast ebenso rasch wieder im sauberen Wasser. Bei S-Metolachlor hingegen tritt ein Effekt erst auf, wenn es in einem bestimmten Entwicklungsstadium auf die Algen wirkt. Eine Erholung trat dann erst nach 29 Stunden ein. Er-

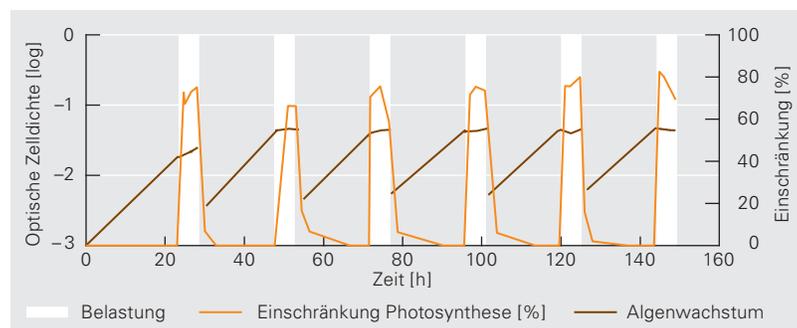


Welche ökotoxikologische Wirkung die eingesetzten Herbizide haben, hängt von verschiedenen Faktoren ab.

klären lässt sich dieser Unterschied mit der Art der Wirkung und dem Ort der Wirkung innerhalb der Algen.

Die Wirkung einer wiederholten Belastung mit dem Photosystem-Inhibitor Isoproturon zeigt die Grafik. Die Effekte auf das Wachstum und die Photosynthese sind nach jeder Belastung zwar wieder verschwunden. Doch in der Umwelt kann sich der Einbruch während Belastungsspitzen sehr wohl auf die Artenzusammensetzung auswirken.

Kurzzeitige Belastungsspitzen mit Herbiziden haben toxische Effekte für Algen. Deshalb sollten sowohl die maximale Überschreitung als auch die Zahl der Überschreitungen des Qualitätsziels begrenzt werden. Strengere Massstäbe sollten dabei insbesondere für Herbizide angelegt werden, die eine verzögerte Wirkung zeigen. ○ ○ ○



Während jeder Belastung (5 h/Tag) mit dem Herbizid Isoproturon werden sowohl das Wachstum als auch die Photosyntheseaktivität von Algen stark eingeschränkt. Sie erholen sich aber in den Phasen dazwischen wieder. Der Abfall der Zelldichte nach jeder Belastung ist das Resultat des experimentellen Vorgehens; die Algenkulturen müssen immer wieder verdünnt werden, damit sie wachsen können.

Diese Arbeit wurde von der Velux Stiftung und dem Nationalfonds unterstützt.

¹ Universität Lausanne

Vallotton N. (2007): Effect assessment of fluctuating exposure of herbicides with different modes of action on algae. PhD thesis, ETHZ.

Vallotton N., Eggen R.I.L., Escher B.I., Krayenbühl J., Chèvre N. (2008): Effect of pulse herbicidal exposure on *Scenedesmus vacuolatus*: a comparison of two photosystem II inhibitors. Environmental toxicology and chemistry, accepted.

Wohin mit dem Spitalabwasser?

Spitäler gelten gemeinhin als Punktquellen für Arzneimittel. Eine Studie im Kantonsspital Winterthur hat gezeigt, dass stark schwankende Konzentrationen vorliegen und längst nicht alle im Spital abgegebenen Stoffe auch dort ausgeschieden werden. Ob sich unter diesen Aspekten eine separate Behandlung von Spitalabwasser lohnt, muss noch näher geklärt werden. Christa S. McArdell, David Weissbrodt, Lubomira Kovalova, Juliane Hollender, Hansruedi Siegrist

Rund 18% der in der Schweiz verkauften Medikamente werden in Spitälern abgegeben. Das zeigen Abschätzungen der Verbrauchszahlen von Arzneimitteln im Rahmen des Projektes MicroPoll (Seite 9). Es gibt jedoch spezifische Medikamente, die zu einem deutlich höheren Prozentsatz in Spitälern zum Einsatz kommen, zum Beispiel Röntgenkontrastmittel oder Krebsmittel (Zytostatika).

Abgabe ≠ Ausscheidung

Die Menge der abgegebenen Medikamente kann nicht einfach mit der im Spitalabwasser wieder gefundenen Menge gleichgesetzt werden. Die ausgeschiedenen Anteile variieren je nach Wirkstoff stark, und zudem werden Medikamente im Spital auch an ambulante Patienten abgegeben. Um den wirklichen Anteil an Arzneimitteln im Spitalabwasser zu ermitteln, haben wir daher Verbrauchsstatistiken und bekannte Daten über die Ausscheidungsraten zusammengetragen. Ausserdem ha-

Ob eine dezentrale Behandlung des Spitalabwassers sinnvoll ist, kann noch nicht gesagt werden.

ben wir ausgewählte Arzneistoffe analysiert und deren Massenflüsse im Spitalabwasser erfasst.

Erste Analysen wurden im Kantonsspital Winterthur im Mai 2007 durchgeführt. Während 8 Tagen wurden dem Abwasserkanal proportional zur Abflussmenge Proben entnommen. Analysiert wurden Vertreter der Zytostatika, die aufgrund ihrer häufig Krebs erregenden Wirkung in der Umwelt unerwünscht sind, sowie Röntgenkontrastmittel. Diese sind zwar toxikologisch weniger relevant, werden jedoch in der Umwelt lange nicht abgebaut.

Viele ambulante Patienten

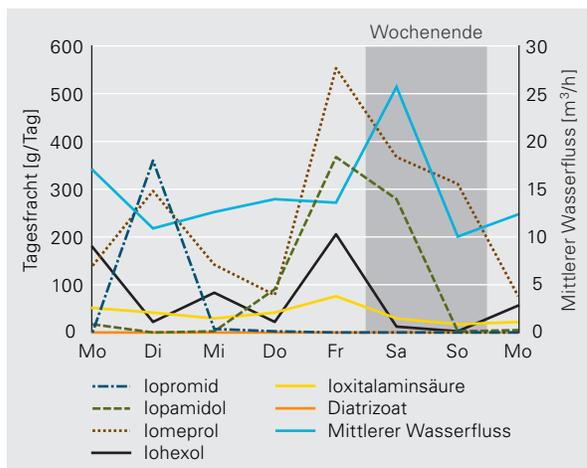
Die Resultate zeigen, dass die Mengen im Abwasser im Tagesverlauf und von Tag zu Tag stark schwanken, in Abhängigkeit vom Verbrauch im Spital. Das Röntgenkontrastmittel Iomeprol wurde in den höchsten Konzentrationen gefunden – bis zu 1700 µg/l. Dagegen massen wir für das Krebsmittel 5-Fluorouracil nur Konzentrationen bis maximal 30 ng/l. Das Konzentrationsprofil der 3-Stunden-Sammelproben widerspiegelt die erwarteten Ausscheidungsraten. Röntgenkontrastmittel werden zu 50% innerhalb zweier Stunden wieder ausgeschieden und ergeben so nach Einnahme am Vormittag ein Konzentrationsmaximum um die Mittagszeit.

Der Vergleich zu den Verbrauchszahlen der Röntgenkontrastmittel von 2006 zeigt, dass die gemessenen Frachten 25–50% des durchschnittlichen Verbrauchs entsprechen. Für die Zytostatika liegen genaue Verbrauchszahlen für die Zeit der Messungen vor. Wir fanden aber nur gerade 1–4% der erwarteten Menge an 5-Fluorouracil und Gemcitabin im Abwasser. Teilweise erklären lässt sich das mit dem hohen Anteil (70%)

dieser Mittel, welcher an ambulante Patienten abgegeben wurde.

Einen «Stand der Technik» gibt es noch nicht

Um zu verhindern, dass Arzneimittel aus Spitalabwasser in die Umwelt gelangen, sind verschiedene Strategien denkbar. Unter Leitung der Eawag hat sich daher eine Arbeitsgruppe «Spitalabwasser» konstituiert, die Fachleute des Bundesamtes für Umwelt, aus Kantonen und Ingenieurbüros umfasst. Eines der Hauptziele ist es, zu einer wissenschaftlich abgestützten Haltung zu kommen, ob Spitalabwasser eine Sonderbehandlung nötig macht, und wenn ja, ob dies sinnvoller direkt im Spital oder mit einem Ausbau von Kläranlagen erfolgen soll. Zurzeit wird im Kantonsspital Baden eine Pilotanlage mit Membranbioreaktor und anschließender oxidativer Behandlung des Abwassers installiert, um weitere Erfahrungen zu sammeln, denn einen «Stand der Technik» zur Behandlung von Spitalabwasser gibt es bisher nicht. ○○○



Massenflüsse von Röntgenkontrastmitteln im Abwasser des Kantonsspitals Winterthur während acht Tagen.

Moser R., McArdell C.S., Weissbrodt D. (2007): Mikroverunreinigungen: Vorbehandlung von Spitalabwasser. GWA 11, 869–875.

Nitrosamine im Wasserkreislauf

Krebs erzeugende Nitrosamine können via Abwasser in Oberflächengewässer und unter Umständen auch ins Grundwasser gelangen. Die Eawag hat eine Analyse­methode entwickelt, welche die unerwünschten Stoffe in Abwasserproben aufspüren und Konzentrationen im Nanogrammbereich messen kann. Die Resultate aus Schweizer Kläranlagen sind nicht beunruhigend. Martin Krauss, Philipp Longrée, Juliane Hollender

Krebs erzeugende Nitrosamine, insbesondere *N*-Nitrosodimethylamin (NDMA), sind zuerst in Nordamerika, dann auch in Europa stark in die Diskussion gekommen, da sie in Abwasser und Trinkwasser gefunden wurden. In Nordamerika ist vor allem die Chlorierung bzw. Chloraminierung von Abwasser und Trinkwasser für die Bildung von Nitrosaminen verantwortlich. Die unerwünschten Stoffe stammen aber auch aus Quellen in Industrie und Haushalten. Sie können also auch in Ländern auftreten, die wie die Schweiz weitgehend auf andere Wasserdesinfektionsverfahren setzen. An der Eawag wurde eine leistungsstarke Analyse­methode zur Bestimmung von Nitrosaminen entwickelt.

Herausforderungen an die Analytik

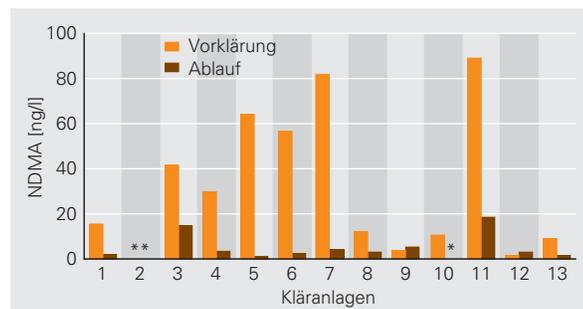
Der Nachweis von NDMA und anderen Nitrosaminen im Bereich einiger weniger Nanogramm pro Liter stellt hohe Anforderungen an die Analytik. Für eine Anreicherung der kleinen, ungeladenen und sehr gut

löslichen Verbindungen aus dem Wasser heraus müssen spezifische Adsorbentien verwendet werden. Die zuverlässige Messung wird insbesondere in Abwasserproben durch eine Vielzahl störender Inhaltsstoffe erschwert, so dass neben einer hohen Empfindlichkeit auch eine hohe Selektivität für eine eindeutige Quantifizierung notwendig ist. Unsere Methode ermöglicht die Messung der Nitrosamine hinunter bis 1 ng/l. Nach einer Aufkonzentration der Wasserprobe um den Faktor 500 mit Festphasenextraktion erfolgen eine flüssigchromatografische Trennung und die Messung von neun Nitrosaminen an einem hochauflösenden Tandem-Massenspektrometer (LTQ Orbitrap).

Messungen in Schweizer Kläranlagen

Um einen Überblick über die Nitrosaminbelastung von Abwasser in der Schweiz zu erhalten, wurden von 13 Kläranlagen mit unterschiedlichem Ausbaustand 24-Stunden-Mischproben analysiert. Nach der Vorklä­rung konnten zum Teil Konzentrationen von NDMA bis nahe 100 ng/l gefunden werden. Durch die biologische Abwasserbehandlung wurde eine hohe NDMA-Belastung in allen Kläranlagen deutlich reduziert, so dass die Konzentrationen vor der Rückgabe des gereinigten Wassers in das nächste Gewässer überall unter 20 ng/l lagen.

Von den anderen bestimmten Nitrosaminen trat *N*-Nitrosomorpholin in allen Kläranlagen mit Konzentrationen bis zu 30 ng/l auf. *N*-Nitrosodiethylamin, *N*-Nitrosopiperidin und *N*-Nitroso-di-*n*-butylamin wiesen in einzelnen Proben Konzentrationen bis zu 20 ng/l auf. Auch für diese vier Verbindungen erfolgte eine deutliche Elimination durch die biologische



Konzentrationen von NDMA nach der Vorklämung und im Ablauf von 13 Schweizer Kläranlagen. * = unter der Nachweisgrenze von 1 ng/l.

Abwasserbehandlung, so dass die Konzentrationen im Ablauf meist unter 5 ng/l lagen. Im Vergleich zu Nordamerika kann auf der Basis dieser Ergebnisse die Nitrosaminbelastung des geklärten Abwassers in der Schweiz als niedrig eingestuft werden.

EU-Projekt

Zurzeit verfolgen wir im Rahmen des EU-Projekts «Reclaim Water» das Auftreten und die Elimination von Nitrosaminen während der künstlichen Grundwasseranreicherung mit behandeltem Abwasser in Anlagen in Israel, Italien, Belgien und Spanien. Die Ergebnisse zeigen eine weitgehende Elimination der Nitrosamine während der Abwasserreinigung und der Aquiferpassage. Nur NDMA trat vereinzelt, in Konzentrationen unter 10 ng/l, im wieder gewonnenen Grundwasser auf. ○ ○ ○



Martin Krauss am hochauflösenden Tandem-Massenspektrometer (LTQ Orbitrap).

Krauss M., Hollender J. (2008): Analysis of nitrosamines in wastewater: Exploring the trace level quantification capabilities of a hybrid linear ion trap/Orbitrap mass spectrometer. *Analytical Chemistry* 80, 834–842. www.reclaim-water.org

Koffein als Zeiger, wo Gewässerschutz am meisten bringt

Ist es sinnvoll, Konzentrationen von pharmazeutischen Wirkstoffen, Bioziden oder Koffein zu messen, solange sie so tief sind, dass eine unmittelbare Schädigung des Flussökosystems oder einzelner Arten unwahrscheinlich ist? Ja, es ist sinnvoll. Denn solche Werte geben wertvolle Hinweise, wo Gewässerschutzmassnahmen am effizientesten sind – lange bevor die Fische tot sind. Alfredo C. Alder, Zaharie Moldovan

In Europa und Nordamerika wurden in den letzten Jahren viele Studien gemacht über das Vorkommen von Humanpharmazeutika und Duftstoffen im Abwasser und in den Gewässern. Doch aus Osteuropa und aus Entwicklungsländern liegen kaum Daten vor. Dies ist aus zwei Gründen eine schmerzliche Lücke: Eine Abschätzung der jeweiligen Situation mit anderswo gemessenen Daten ist im Fall dieser Stoffe kaum möglich, weil die Verbrauchsmengen je nach Land stark variieren. Und Rückschlüsse darauf, wo Abwasser kaum oder gar nicht behandelt in die Gewässer eingeleitet wird, sind nicht möglich.

Arzneien und Koffein

Im Rahmen der vom Nationalfonds geförderten Forschungszusammenarbeit Schweiz–Rumänien (siehe Kasten) haben wir in Transsylvanien (Siebenbürgen) im Einzugsgebiet des Flusses Somesch Konzentrationen

und Frachten einzelner Humanpharmazeutika und Duftstoffe ermittelt. Es waren dies die Pharmaka Carbamazepin, Ibuprofen, Diazepam und Pentoxifyllin sowie die Duftstoffe Tonalid und Galaxolid. Zusätzlich analysierten wir die Proben auf Koffein und das in Desinfektions- und Konservierungsmitteln enthaltene Biozid Triclosan.

Die Kleine Somesch (Rumänisch: *Somesul Mic*) entspringt südlich von Cluj-Napoca und vereinigt sich bei Dej mit der Grossen Somesch (*Somesul Mare*). Die Somesch (Somes) mündet dann in Ungarn nach 370 km in die Theiss, die zur Donau fliesst. Im 250 km langen rumänischen Flussabschnitt haben wir immer einige Kilometer ober- und unterhalb der Kläranlagen Stichproben entnommen und mit Gaschromatografie sowie direkt gekoppelter Massenspektrometrie analysiert.

Deutlich weniger als in der Schweiz

Das Antiepileptikum Carbamazepin wird in Kläranlagen kaum eliminiert und eignet sich darum gut als Indikator, ob grundsätzlich viel oder wenig häusliches Abwasser in den Fluss eingeleitet wurde. Die Konzentrationen im Ablauf der rumänischen Kläranlagen variierten zwischen 210 und 770 ng/l. Im Fluss waren die Konzentrationen mit 20–60 ng/l relativ konstant. Sie liegen damit in der Somesch um eine Grössenordnung tiefer als in den Flüssen der Schweiz oder in anderen Flüssen Westeuropas. Das kann zwei Gründe haben: Entweder liegt der Carbamazepin-Verbrauch in Rumänien tiefer oder der Abwasseranteil im Fluss ist tiefer, beziehungsweise die Verdünnung des Abwassers gross.

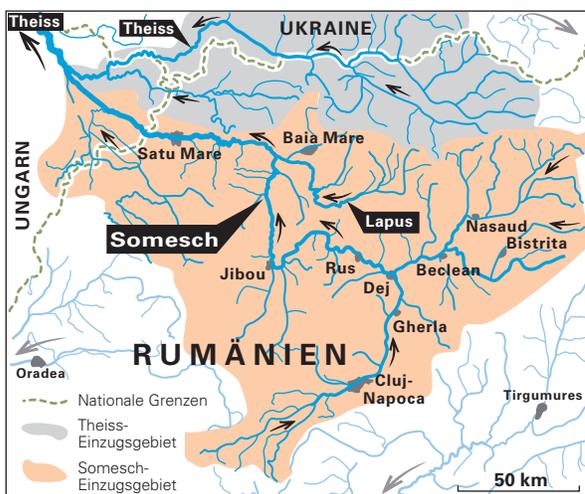
Die Tagesfrachten schwankten zwischen 78 g/Tag unterhalb von Cluj-Napoca und 210–230 g/Tag nach dem Zusammenfliessen der Kleinen mit der Grossen Somesch (Abbildung).

Im Gegensatz zu Carbamazepin wird Koffein in Kläranlagen gut abgebaut (>99%). Die Koffeinkonzentrationen im Fluss können daher als chemische Indikatoren für unbehandeltes, kommunales Abwasser verwendet werden. Die Koffeinkonzentrationen im Ablauf der meisten Kläranlagen variierten zwischen 24 000 und 42 000 ng/l. Das ist sehr hoch und weist darauf hin, dass die Anlagen schlecht funktionieren oder völlig überlastet sind. Eine Ausnahme bildet die effiziente Kläranlage in Cluj-Napoca. Dort massen wir im behandelten Abwasser Koffeinkonzentrationen von nur rund 30 ng/l. Die Koffeingehalte im kaum oder unbehandelten Abwasser liegen also um drei Grössenordnungen über denen des Kläranlageabflusses von Cluj-Napoca.

In der Somesch variierten die Koffeinkonzentrationen zwischen 110 und 330 ng/l – vergleichbar mit Konzentrationen, wie sie in Schweizer Flüssen gemessen werden. Die Koffeinfrachten stiegen von weniger als 600 g/Tag in der Kleinen Somesch bis auf 2400 g/Tag nach dem Zusammenfluss mit der Grossen Somesch.

Grosse Somesch bringt Abwasser

Die Frachten des kaum abbaubaren Carbamazepins erhöhten sich um einen Faktor 2 bis 3 bei Dej, eine Folge der Abwassereinleitungen in den Fluss. Die überproportionale Erhöhung der Koffeinfrachten um einen Faktor 4 unterhalb Cluj-Napoca weist



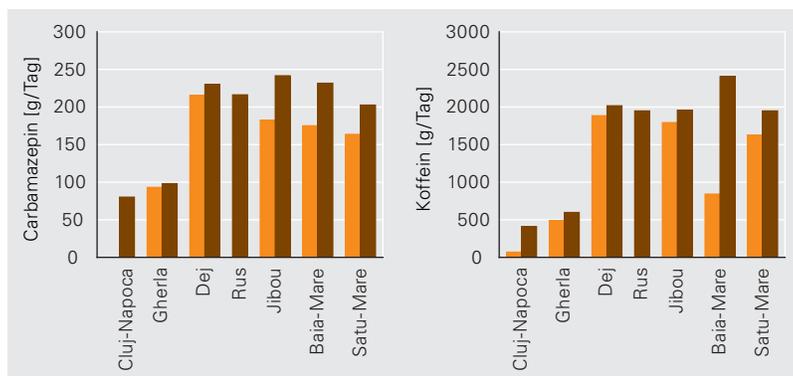
Im Einzugsgebiet der Somesch leben 1,8 Millionen Einwohner. Die wichtigsten Kläranlagen befinden in Cluj-Napoca (350 000 Einwohner), Gherla (30 000 Einwohner), Dej (75 000 Einwohner), Baia Mare (200 000 Einwohner) und Satu Mare (150 000 Einwohner).



Flussromantik in Rumänien und Probenahme auf einer kaum mehr funktionstüchtigen Kläranlage im Einzugsgebiet der Somesch.

auf einem Eintrag von unbehandeltem Abwasser hin. Da der Anstieg vor allem bei Dej stattfindet, muss er davon herrühren, dass vor allem über

die Grosse Somesch unbehandeltes Abwasser zufließt – aus den Städten Bistrita, Nasaud und Beclean (zusammen rund 115 000 Einwohner).



Massenflüsse von Carbamazepin und Koffein in der Somesch. Die Wasserproben wurden oberhalb (orange) und unterhalb (braun) der Zuflüsse bzw. Einleitungen von Abwasserreinigungsanlagen entnommen.

ESTROM – Schweizer Beitrag zur Wasserforschung in Rumänien

Das Programm Estrom (Environmental Science and Technology in Romania) wurde gemeinsam getragen vom Nationalfonds, der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit und dem Rumänischen Ministerium für Bildung und Forschung. Estrom hatte zum Ziel, Ausmass und Auswirkungen von Gewässerverschmutzungen an ausgewählten Orten in Rumänien zu untersuchen und Entscheidungsgrundlagen für Massnahmen zum Schutz der Ökosysteme und der menschlichen Gesundheit vorzuschlagen. Mit einem Budget von 1,5 Millionen Franken wurden neun Projekte unterstützt, an denen fünf Eawag-Forscher als Schweizer Partner beteiligt waren. Mit Prof. Walter Giger leitete ein Eawag-Wissenschaftler den Estrom-Lenkungsausschuss. Die Forschungsergebnisse werden vom 3. bis 5. September 2008 an einer internationalen Konferenz in Bukarest für Fachleute aus der Gewässerschutzpraxis und für Behördenvertreter präsentiert. Weitere Informationen unter: www.estrom.ch und www.cnmp.ro/estrom.php

Unterhalb Dej blieben die Frachten, trotz der Einträge aus weiteren Städten wie Jibou, Baia Mare und Satu Mare, relativ konstant, denn Koffein wird im Fluss teilweise abgebaut.

Toxikologisch sind die Konzentrationen der analysierten Stoffe nicht Besorgnis erregend. Unsere Resultate weisen aber darauf hin, dass mit dem unbehandelt eingeleiteten Abwasser auch andere Stoffe und Stoffgemische in die Somesch gelangen können. Für eine Verbesserung der Gewässerqualität sollten daher vor allem die Abwasserreinigungsanlagen an der Grosse Somesch ausgebaut werden. Der sprunghafte Anstieg der Koffeinkonzentration nach dem Zufluss von Baia Mare weist auch dort auf eine ungenügende Leistung der Abwasserreinigung hin. ○ ○ ○

Moldovan Z., Schmutzer G., Tusa F., Calin R., Alder AC. (2007): A first overview of pharmaceuticals and personal care products contamination along of the river Somes watershed, Romania. J. Environ. Monit. 9, 986–993.

Ein Plastikstreifen anstelle eines Fisches?

Neue Chemikaliengesetze haben weltweit einen grossen Bedarf an Informationen über das Bioakkumulationspotenzial von organischen Mikroverunreinigungen ausgelöst. Studien mit lebenden Fischen sind teuer und müssen auch aus Gründen des Tierschutzes auf ein Minimum beschränkt werden. Unsere Labormethode simuliert erfolgreich die passive Aufnahme über Fischkiemen.

Fischkiemen. Jung-Hwan Kwon, Beate Escher

Viele organische Mikroverunreinigungen werden in Fischen stark angereichert. Diese Bioakkumulation ist daher nicht nur für die Fischgesundheit und Integrität von Ökosystemen, sondern auch für den Menschen bedeutend. Für die Registrierung neuer Chemikalien muss der Hersteller Information zur Fisch-Bioakkumulation erheben.

Schnellere Tests sind gefragt

Die Bioakkumulation erfolgt über zwei Pfade:

- ▶ Biokonzentration = direkte Anreicherung aus dem Umgebungswasser, vor allem durch passive Diffusion über die Kiemen,
- ▶ Biomagnifikation = Anreicherung über die Nahrungskette.

Üblicherweise wird die Biokonzentration mit der OECD-Testrichtlinie 305 ermittelt. Dazu müssen pro Testsubstanz 40–60 Fische getötet werden. Ein Test dauert 2–3 Monate und kostet rasch über 100 000 Franken. Der Bedarf für alternative Methoden ist gross.



Einsetzen der Rührscheibe in die eine Hälfte der Glaszelle. Die ganze Glaszelle mit der PDMS-Membran in der Mitte kommt dann auf einen Magnetrührer, bei dem die Rührscheiben nicht nur gedreht, sondern auch gestürzt werden. So bleibt an der Kiemenmembran nur eine hauchdünne Wasserschicht ungerührt.

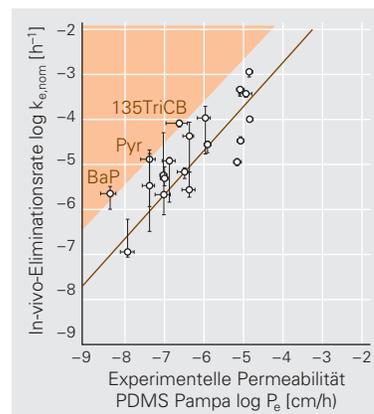
Bei der Pharmazie angelehnt

Die Pharmazie hat diverse Labormethoden entwickelt, welche die passive Aufnahme und Elimination von Pharmazeutika über biologische Membranmodelle abschätzen können. Eines dieser Modelle, der bei Hoffmann-La Roche entwickelte PAMPA-Test (Parallel Artificial Membrane Permeability Assay) wurde auch auf organische Mikroverunreinigungen angewendet [1]. Ausgerechnet für besonders problematische Stoffe eignet sich die Methode jedoch nicht, weil diese in der Regel schlecht wasserlöslich sind.

Wir haben die Methode modifiziert und den Prozess in den Kiemen simuliert: Zwischen einem mit dem Schadstoff imprägnierten Geber- und einem schadstofffreien Empfängerplättchen aus Kunststoff (Polydimethylsiloxan = PDMS) ist eine PDMS-Membran gespannt. Sie dient als Modell für die Kiemenmembran der Fische. Nun misst man die Abnahme der Schadstoffe im Geber- und die Zunahme im Empfängerplättchen. Bestimmend für die benötigte Zeit bis zu einem Gleichgewicht vor und nach der Membran ist aber nicht die Diffusion durch die Membran selbst, sondern die ungerührte wässrige Grenzschicht, die sich zwischen Membran und gut durchmischem Wasser bildet. In gut mit Sauerstoff durchströmten Kiemen ist diese nur etwa 20 μm dünn. Das lässt sich im Labor nur mit einer speziellen Rührtechnik verwirklichen.

Kiemenmodell funktioniert

Mit unserem Versuchsaufbau haben wir 14 unterschiedlich lipophile Substanzen getestet [2]. Die Permeabilitäten korrelierten gut mit den an lebenden Fischen gemessenen Eliminationsgeschwindigkeiten. Ausnahmen waren Stoffe, die im Fisch metaboli-



Das PDMS-Pampa-Kiemenmodell erlaubt eine gute Voraussage von Eliminationsraten in lebenden Fischen. Eine Ausnahme bilden Stoffe, bei denen eine Metabolisierung die Elimination beschleunigt, z. B. Benzolalpyren (BaP) oder 1,3,5-Trichlorbenzen (oranges Feld).

siert werden und daher höhere Eliminationsraten aufweisen, als das Modell zeigt. Wir wollen nun in der Empfängerzelle Enzyme zugeben, die aus Fischlebern isoliert wurden, um auch den Beitrag der Metabolisierung vorherzusagen. Doch schon jetzt ist der PDMS-Pampa-Test einsatzfähig zur worst-case Abschätzung des Biokonzentrationspotenzials und damit zum Entscheid, ob überhaupt Tierversuche nötig sind. ○ ○ ○

[1] Kwon J.-H., Katz L.E., Liljestrand H.M. (2006): Use of a parallel artificial membrane system to evaluate passive absorption and elimination in small fish. *Environ. Tox. Chem.* 25, 3083–3092.

[2] Kwon J.-H., Escher B.I. (2008): A modified parallel artificial membrane permeability assay for evaluating bioconcentration of highly hydrophobic chemicals in fish. *Environ. Sci. Technol.* (in press).

Versteinertes Wasser als Klimaarchiv

Stalagmiten aus Tropfsteinhöhlen wachsen über Jahrtausende und können für die Erforschung des Klimas der Vergangenheit genutzt werden. Anders als etwa Eisbohrkerne aus der Arktis liefern sie auch für gemässigte und kontinentale Gebiete Informationen über sehr lange Zeiträume. Die hochpräzise Extraktion von kleinsten Wasser- und Lufteinschlüssen aus den Stalagmiten stellt jedoch hohe Anforderungen. Yvonne Scheidegger, Rolf Kipfer, Rainer Wieler¹, Dominik Fleitmann², Markus Leuenberger²

Stalagmiten zeigen als Folge der saisonal unterschiedlichen Tropfraten deutliche Wachstumslagen, die sich genau datieren lassen. Während sie wachsen, schliessen sie kleinste Mengen des Tropfwassers und der Höhlenluft ein. Diese Wasser- und Lufteinschlüsse sind vielversprechende Archive, die noch weitgehend unerforscht sind.

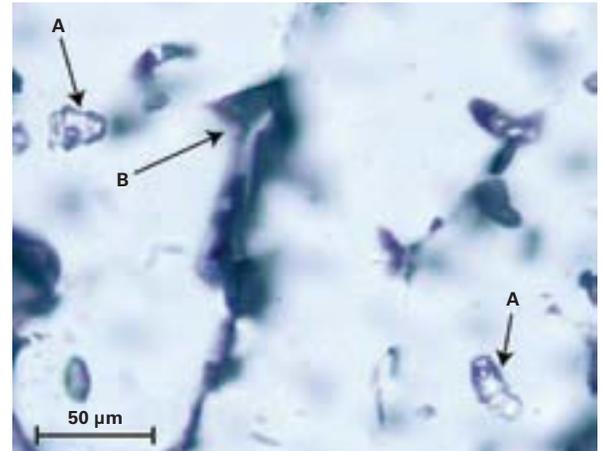
Kristalle nicht zertrümmern

Gelöste Edelgase in den Wassereinschlüssen archivieren die klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt ihres Einschlusses in den Stalagmiten. Denn die Löslichkeit der Edelgase (Neon, Argon, Xenon) hängt von der Temperatur des Wassers, seiner Salzkonzentration und dem Luftdruck während des Gasaustausches ab. Analog zur Anwendung der Methodik in Grundwässern lässt sich so aus dem Verhältnis ihrer Konzentrationen die Höhlentemperatur bestimmen, die bei der Bildung der Wassereinschlüsse geherrscht haben muss. Die Schwierigkeit bei der Extraktion der Gase aus den Wassereinschlüssen liegt vor allem darin, eine Vermischung mit Edelgasen aus benachbarten Lufteinschlüssen zu vermeiden, da Edelgase aus der Luft keine Information über das Klima der Vergangenheit enthalten. Wir haben eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, die Edelgase aus den Wassereinschlüssen zu extrahieren und den Anteil störender Edelgase aus Lufteinschlüssen minimal zu halten. Das Material des Stalagmiten wird dazu zertrümmert, ohne aber die einzelnen Kalzitkristalle zu zerstören. So kann die Luft, die sich zwischen den Kristallen befindet, entweichen, das in den Kristallen eingeschlos-

sene Wasser jedoch nicht. Erst im nächsten Schritt werden dann die in diesem Wasser gelösten Gase durch Erhitzen extrahiert. Zur Überprüfung der Methode wurden Proben aus einem bis heute wachsenden Stalagmiten aus Yemen analysiert. Die berechneten Temperaturen stimmen mit der aktuellen Höhlentemperatur gut überein. Sie weisen allerdings noch beträchtliche Fehler auf, weil wir bisher noch keine absoluten Konzentrationen messen konnten. Mit der Bestimmung der aus der Probe extrahierten Wassermenge mit Hilfe einer Druckmessung versuchen wir zur Zeit, die Ungenauigkeit einzugrenzen, damit Paläotemperaturen noch präziser bestimmt werden können.

Üppigeres Wachstum vor 2000 Jahren

Für die Analyse der Gase aus den Lufteinschlüssen wurden aus demselben Stalagmiten Proben aus der Gegenwart sowie 2000 Jahre alte Proben auf ihre Zusammensetzung untersucht. Erste Analysen zeigen, dass die Hauptkomponenten der Luft in der gleichen Menge vorkommen wie in der freien Atmosphäre. Die Spurengase, insbesondere CO₂, sind jedoch gegenüber atmosphärischen Konzentrationen stark erhöht. Die isotopische Zusammensetzung des



Mikroskopaufnahme eines Stalagmiten aus Oman. A: Wassereinschluss, B: Lufteinschluss

Kohlenstoffs aus CO₂ ist sehr leicht, was darauf hindeutet, dass das CO₂ biogenen Ursprungs ist. Das zeigt, dass die alten Lufteinschlüsse tatsächlich «alte» Höhlenluft enthalten und als indirekter Zeiger verwendet werden können für die biologische Aktivität im Boden über der Höhle. Der Vergleich zwischen der rezenten und der alten Probe lässt vermuten, dass die biologische Aktivität in der Vergangenheit höher war. Das Klima im trockenen Jemen muss damals also feuchter gewesen sein. ○ ○ ○



Die letzten 7000 Jahre (rund 20 cm) eines Stalagmiten aus der Sofular Cave, Türkei. Der gesamte Tropfstein enthält Wachstumslagen bis 50 000 Jahre zurück.

¹ ETH-Zürich

² Universität Bern

Arsen und Uran im griechischen Grundwasser

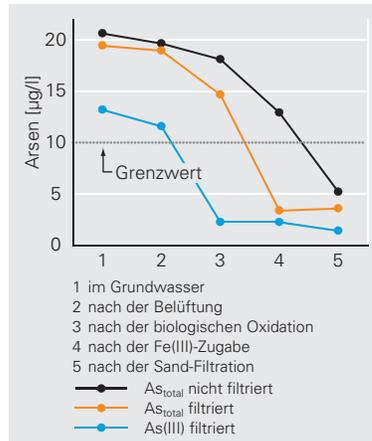
In manchen Regionen Griechenlands enthält zum Trinken verwendetes Grundwasser erhöhte Konzentration von Arsen und Uran. Während Uran in den untersuchten Regionen unter dem Richtwert auftritt, liegen die Arsenkonzentrationen über dem neuen EU-Grenzwert von 10 µg/l. Bereits getroffene Massnahmen müssen nun rasch ausgeweitet werden, um die seit Januar 2008 geltenden neuen Vorgaben einzuhalten. Ioannis Katsoyiannis und Stephan Hug, W+T

Aufgrund der Krebs fördernden Wirkung haben EU, WHO und USA den Grenzwert für Arsen im Trinkwasser auf 10 µg/l gesenkt. Dieser wird auch in vielen Regionen Europas überschritten. In Griechenland galt bis Januar 2008 ein Übergangsgrenzwert von 35 µg/l. In einem von der EU finanzierten Projekt haben wir zwei Regionen in Griechenland untersucht.

Drimal höher als Grenzwert

In Grundwasser kommt Arsen in zwei Formen vor: In sauerstoffhaltigem Wasser überwiegt As(V), das sich leichter entfernen lässt. In sauerstofffreiem Wasser dominiert As(III), das zur Entfernung meist zuerst zu As(V) oxidiert werden muss. In zwei Gebieten am Golf von Thessaloniki haben wir 23 Grundwasserfassungen beprobt. Die Arsenkonzentrationen in beiden Regionen betragen im Durchschnitt 30 µg/l mit Werten von 10–70 µg/l. In den reduzierenden Grundwässern von Aksios in der Schwemmebene der Flüsse Aksios und Loudias lag vorwiegend As(III) vor und die Urankonzentrationen waren tief. Im sauerstoffhaltigen Grundwasser in der Karstregion Kalikrateia dagegen dominierte As(V) und die Urankonzentrationen reichten bis 10 µg/l (WHO-Richtwert für Uran: 15 µg/l).

In Malgara (Aksios) enthält das Grundwasser 20 µg/l Arsen (hauptsächlich As(III)), 165 µg/l Eisen,



Arsenkonzentrationen im Wasser von Malgara/Aksios nach jeder Aufbereitungsstufe.

550 µg/l Phosphat, 235 µg/l Mangan und 1,2 mg/l Ammonium. 2005 wurde eine mehrstufige Wasserbehandlungsanlage installiert, in der wir zusammen mit den lokalen Betreibern die Entfernung von Arsen untersucht haben.

Entfernung in vier Stufen

In Stufe 1 wird das Wasser belüftet. Gelöstes Fe(II) wird zu unlöslichem Fe(III) oxidiert, so dass es mikroskopisch kleine, suspendierte Eisenoxidpartikel (braunes Wasser)

bildet. Ein geringer Teil As(III) wird dabei zu As(V) oxidiert und im Eisenoxid gebunden. Die zweite Stufe ist ein biologischer Sandfilter, in dem natürlich vorhandene Bakterien gelöstes Mangan zu Manganoxiden oxidieren, die zusammen mit den Eisenoxiden zurückgehalten werden. As(III) wird zu As(V) oxidiert, nicht aber entfernt, weil die bis anhin entstandenen Oxide nicht genügend Arsen binden. In der dritten Stufe wird durch Zugaben von Fe(III) mehr Eisenoxid gebildet, so dass nun nur noch an Eisenoxidpartikel gebundenes und damit filtrierbares Arsen vorhanden ist, das im Sandfilter von Stufe 4 entfernt wird. In Gebieten mit sauerstoffhaltigem Grundwasser mit As(V) würde eine Anlage mit den Stufen 3 und 4 genügen.

In Laborversuchen und in Pilotanlagen entwickeln wir zur Zeit einfachere Arsenentfernungsmethoden für kleinere Anlagen. Eine vielversprechende Möglichkeit ist die Verwendung von Sandfiltern mit Eisenspänen, die in belüftetem Wasser laufend gelöstes Fe(II) und Eisenoxide bilden und damit kontinuierlich As(III) oxidieren und zurückhalten. ○ ○ ○



Lage der zwei untersuchten Regionen in Nord-Griechenland: a) Aksios, 30–40 km westlich von Thessaloniki und b) Kalikratia, 40–50 km südöstlich von Thessaloniki.

Die Situation in der Schweiz

In der Schweiz gilt für Arsen noch der Grenzwert von 50 µg/l. Wo mehr als 10 µg/l Arsen vorkommen – vor allem im Tessin, in Graubünden und im Wallis – kann das Problem meist durch Verdünnung mit unbelastetem Wasser gelöst werden. Für die Verwendung einzelner belasteter Quellen müsste das Arsen ähnlich wie in Griechenland entfernt werden.

Katsoyiannis I.A., Hug S.J. et al. (2007): Arsenic speciation and uranium concentrations in the groundwaters in Northern Greece: Correlations with redox indicative parameters and implications for groundwater treatment. *Science of the Total Environment* 383, 128–140.

Katsoyiannis I.A., Zikoudi A., Hug S.J. (2008): Arsenic removal from groundwaters containing iron, ammonium, manganese and phosphate: A case study from a pilot plant unit in Northern Greece. *Desalination* 224, 330–339.

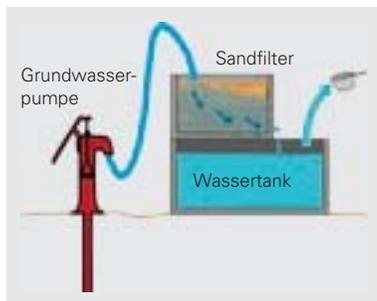
Psychologie der Sandfilternutzung

Technische Innovation allein genügt nicht, um Probleme im Alltag zu lösen. Nur wenn die Lösungen tatsächlich über lange Zeit und korrekt eingesetzt werden, können sie ihre Wirkung entfalten. Dazu braucht es Kampagnen, welche auf die materiellen, sozialen und psychologischen Verhältnisse der Betroffenen zugeschnitten sind. Am Beispiel der Sandfilter zur Beseitigung von Arsen haben wir untersucht, welche Faktoren wichtig sind. Robert Tobias, Hans-Joachim Mosler

Viele Probleme der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung können mit an der Eawag entwickelten innovativen Technologien gelöst werden – oder besser gesagt: könnten. Denn zuerst müssen die Haushalte dazu gebracht werden, diese Technologien zu installieren, zu nutzen und zu warten. Dies kann mit Promotionskampagnen erreicht werden, wie sie von Sozialwissenschaftlern entwickelt und realisiert werden.

Arsen im Trinkwasser

Gemäss Schätzungen ist heute weltweit die Gesundheit von mehr als 100 Millionen Menschen durch arsenhaltiges Trinkwasser bedroht. Es genügen bereits andauernde Belastungen von 50 µg Arsen pro Liter, um nach 10–15 Jahren ernsthafte Gesundheitsprobleme auszulösen. Als erstes Krankheitssymptom verändert sich die Hautpigmentierung. Das kann bis zu Hautkrebs und der für die chronische Arsenvergiftung typischen «Blackfoot disease» führen. An der Eawag entwickelte Sandfilter können hier Abhilfe schaffen, denn mit der einfachen Technik können durchschnittlich 80% des Arsens ausgefällt werden. Installation und Betrieb eines Sandfilters bedeuten



Mit einem einfachen Sandfilter können in Vietnam durchschnittlich 80% des Arsens aus dem gepumpten Grundwasser entfernt werden.

jedoch für einen Haushalt einen nicht unerheblichen Aufwand.

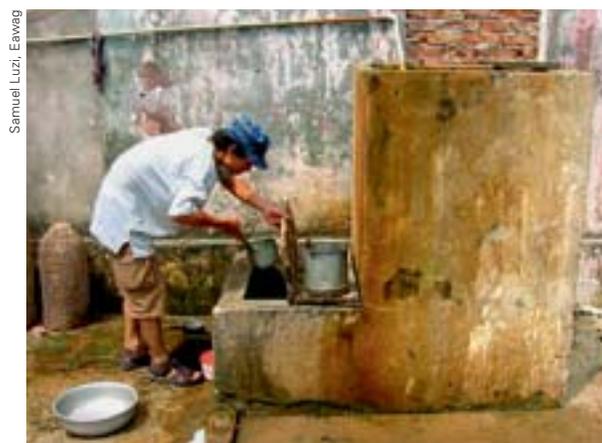
Vietnam: Was macht der Nachbar?

Um die Situation in Vietnam abzuschätzen, haben wir in Dörfern rund um Hanoi repräsentative Befragungen durchgeführt und die Antworten statistisch ausgewertet. Es zeigte sich eine starke Orientierung der Personen am Verhalten der anderen. Das führt dazu, dass in einigen Dörfern fast alle Haushalte Sandfilter verwenden und in den anderen kaum einer. Überraschenderweise werden Sandfilter meist aber nicht als teuer beurteilt und nicht wegen des Arsens im Trinkwasser gebaut, sondern zur Beseitigung des ungefährlichen, aber unappetitlichen Eisens im Wasser. Die Wartung wird oft zu selten oder gar nicht durchgeführt. Dies obwohl die gelbbraunliche Verfärbung des Wassers und die Reduktion der Durchflussgeschwindigkeit die Befragten daran zu erinnern scheint, die Wartung vorzunehmen.

Vielen scheint die Bedeutung der Wartung aber auch unbekannt zu sein. Oder umgekehrt: Eine korrekte Wartung wird signifikant häufiger von denjenigen Personen durchgeführt, welche in der Umfrage auch die Wirkung der Filter auf die Gesundheit hervorgehoben haben.

Kampagnen entwickeln

Basierend auf diesen Resultaten können nun Kampagnen entwickelt werden, welche den Bau und die Wartung von Sandfiltern fördern. Um das Problembewusstsein zu verstärken, könnte z.B. über Massenmedien auf die Arsenproblematik aufmerksam gemacht werden. Oder es könnten Fachleute ausgebildet werden, welche gegen ein Entgelt Wasserproben einsammeln, im Labor analysieren



Sandfilter zur Eisen- und Arsenentfernung in ländlichen Haushalten im Delta des Roten Flusses, Vietnam.

und den Haushalten dann die Testresultate mitteilen.

Um die aus der Befragung als besonders bedeutsam hervorgegangenen sozialen Kräfte zu nutzen, könnte gezielt bei interessierten Personen interveniert werden, damit diese Sandfilter bauen und korrekt warten. Diese Haushalte wirken dann als Vorbilder und Lehrer für die anderen. Mit diesen und anderen Techniken kann sichergestellt werden, dass technisch effektive Innovationen auch tatsächlich ihre Funktion im Feld erfüllen und einen Beitrag zur Lösung realer Probleme leisten. ○ ○ ○

www.eawag.ch > Abteilung Systemanalyse und Modellierung > Gruppe Soziale Systeme
Berg M. et al. (2006): Arsenic removal from groundwater by household sand filters – comparative field study, model calculations, and health benefits. *Environ. Sci. Technol.* 40 (17), 5567–5573.

Wasser

Aquatische Ökosysteme

«Wenn der See klar ist, ist es den Fischen wohl.» So einfach, wie das vor kaum 50 Jahren formuliert wurde, ist die Sache denn doch nicht. Seen, Bäche und Flüsse sind komplexe Lebensräume. Ihr Funktionieren muss verstanden werden, wenn das Ziel eines nachhaltigen Umgangs mit aquatischen Ökosystemen erreicht werden will – ob nun am Jangtse in China, am Kivu-See mitten in Afrika oder am Wohlensee bei Bern. An der Eawag werden Methoden und Konzepte entwickelt, den Veränderungen in diesen Systemen und unter ihren «Bewohnern» frühzeitig auf die Spur zu kommen. Denn intakte Gewässer sind nicht nur für die Erhaltung der biologischen Vielfalt wichtig, sondern sie erbringen auch wertvolle «Dienstleistungen» für die Menschen – zum Beispiel eine langfristige Sicherung von Wasserressourcen und Wassernutzungen.

«Wenn ich in eine neue Stadt komme, brauche ich erst einmal einen Plan», sagt **Rosi Siber**. Wer an der Eawag raumbezogene Daten auswerten und darstellen will, kontaktiert sie. Die 44-jährige ist Spezialistin für Geografische Informationssysteme, abgekürzt GIS, und auch Anlaufstelle für die Beschaffung von Geodaten. Zurzeit arbeitet sie zusammen mit der Gruppe Landwirtschaft und Gewässerschutz an einem Modell, das zeigt, welche Flächen schweizweit besonders relevant sind für Pestizideinträge in die Gewässer. Neben Standortfaktoren und Klimadaten fließen Informationen über die angebauten Kulturen, den Pestizidverbrauch und weitere Daten ein. Natürlich kann nicht jeder einzelne Acker berücksichtigt werden. Doch die Resultate werden die Behörden unterstützen in der Entscheidung, in welchen Zonen eine intensivere Überwachung auch von kleinen Bächen angebracht wäre. Für dieses Projekt profitiert Rosi Siber davon, dass sie die Landwirtschaft gut kennt: Nicht nur aus dem eigenen Garten, sondern weil sie sich ursprünglich zur landwirtschaftlich-technischen Assistentin hat ausbilden lassen.



Erst danach hat sie an der Uni Konstanz Biologie studiert und ist über die Limnologie zum Wasser gekommen. Die Bäche kannte sie bis dahin vor allem als Kanufahrerin. Die Doppelrolle als Forscherin und GIS-Expertin, die sie seit 2002 an der Eawag ausfüllt, passt ideal für die Frohnatur. Denn sie interessiert sich nicht nur für Datenberge und Gewässerökologie, sondern hat auch gern mit Menschen zu tun. Im Projekt «Rivers of Europe» (Seite 31) hat sie sich daher nicht nur um die Datenbearbeitung gekümmert und als Beraterin im Hintergrund viel Zeit investiert, sondern ist auch Mitautorin des Kapitels über die Donau.

Anfangs hat **Carsten Schubert** (41) im Deutschen Gies- sen Physik studiert. Nach zwei Semestern kam ihm die Berechnung von Raketenflugbahnen unnütz vor und er sattelte um auf Geologie. «Mit Steinen hatte ich zwar bis dahin nichts am Hut, doch ich war von Anfang an begeistert», sagt er heute. Über die harten Brocken ist er zu



den weicheren Schichten gekommen und hat in der Diplomarbeit einen Sedimentkern aus der Ostsee untersucht. 10 000 Jahre zurück sind darin Informationen gesammelt. Damit war auch der Bogen zur Umweltforschung geschlagen, denn

das Auftreten der Schwermetalle Blei, Zink und Cadmium dokumentierte im Kern den Beginn der Industrialisierung. 1991 erhielt Schubert die Chance, mit dem deutschen Forschungsschiff «Polarstern» mitzufahren. Über den Moment, als der Kompass nur noch rotierte, des Bundeskanzlers Glückwunschtelegramm, das Schwimmgelände bei $-1,7^{\circ}$ Celsius und über das Fest auf dem Schiff, als der Nordpol erreicht war, gerät er heute noch ins Schwärmen. Zu den Sedimenten aus dem arktischen Becken hat er anschliessend am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven seine Doktorarbeit verfasst. Es folgten ein Abstecher nach Vancouver und vier Jahre am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie in Bremen. Zusammen mit seinen Kollegen konnte Schubert den Mechanismus des anaeroben Methanabbaus durch Archäen und Bakterien nachweisen und erstmals präzise beschreiben. Ihr 2000 in «Nature» publizierter Aufsatz wird bis heute immer wieder zitiert. Doch das ständige Gerangel um die meisten und besten Publikationen behagte ihm auf Dauer nicht. Er wollte nach Italien, «wo das Wetter schön ist und es gutes Essen gibt», lacht er, «doch verdient hätte ich dort nichts». So blieb die Schweiz als Kompromiss, wo er an der Eawag weiterhin zu Methan forscht – allerdings nicht nur im Meer, sondern auch in Schweizer Seen (Seite 34). Ein Knick in der Karriere? «Nein», sagt der Familienvater, «hier habe ich den besten Job der Welt mit einem Freiraum, der mir in Deutschland wohl fehlen würde.»

«Am Gymnasium habe ich davon geträumt, Meeresbiologin zu werden und für Greenpeace auf einem Schiff zu arbeiten», sagt **Christine Weber** (33). An der Uni Bern hat die aus dem Emmental stammende Frau dann tatsächlich Biologie studiert. Und auch mit Fischen hatte sie zu tun. Allerdings nur mit der Ein- und Ausfuhr von Zierfischen während eines Praktikums beim Bundesamt für Veterinärwesen. Über ein weiteres Praktikum, diesmal in Paläoökologie, ist sie mit der Eawag in Kontakt gekommen: In Kastanienbaum hat sie den (Klima-)Geschichten nachgespürt, die in Seesedimenten eingeschlossene Pollen erzählen. Das blieb ihr in guter Erinnerung. Als im Rahmen des Rhone-Thur-Projektes eine Doktorandenstelle zu Fischökologie und Fließgewässerrevitalisierung ausgeschrieben war, bewarb sie sich und erhielt den Zuschlag. Die Forschungsarbeit, vor allem die Aufnahmen im Freien, gefällt ihr. Bei Untersuchungen an der Rhone stand sie nahe am Ufer auf zwei Steinen, als eine piepsende Wasserspitzmaus angeschwommen kam und sie umrundete – ein Naturerlebnis, das sie nicht vergisst. «Über die Biologie lerne ich draussen am meisten», sagt sie. Ist es da nicht ernüchternd, zuschauen zu müssen, wie wenig sich etwa im Bereich der Flussrevitalisierungen in der Praxis wirklich bewegt? «Das stimmt nicht», wehrt Weber ab, «es passiert sehr viel, aber wir sind zu ungeduldig und die Massnahmen sind oft noch sehr lokal.» Mit «wir» spricht Christine Weber alle an, die es als Misserfolg werten, wenn nicht innert weniger Jahre der Lachs in die Thur zurückkommt. Doch die zurückhaltende Forscherin würde nie jemandem sagen: «Da liegen Sie falsch.» Mit breit abgestützten Indikatoren – von der grösseren Uferlänge bis zur steigenden Zahl der Erholungssuchenden – zeigt sie auf, dass die Veränderungen schon heute präzise messbar sind (Seite 30). «Anderes dauert halt länger als die vier Jahre bis zur nächsten Wahl in der Politik», lacht sie.





Schweizerisch-chinesische Zusammenarbeit auf dem Jangtse

Im Rahmen der «Yangtze Freshwater Dolphin Expedition» hat die Eawag auf über 1500 Kilometern des grössten chinesischen Flusses Wasser- und Sedimentproben entnommen. Die Analyse zeigt, dass die Konzentrationen der meisten Schadstoffe zwar im selben Bereich liegen wie in anderen grossen Flüssen der Erde, die Frachten jedoch riesig sind. Beat Müller, Michael Berg, August Pfluger¹

Die Bändigung der Fluten des Jangtse ist ein Jahrtausende altes Projekt. Die Regierungsverantwortung der frühen Gott-Kaiser bestand zu einem wesentlichen Teil darin, das Land mit zuträglichen Regenmengen zu versorgen, um gute Ernten zu gewährleisten und Hungersnöte, Überschwemmungen und Dürren, wie von der Literaturnobelpreisträgerin Pearl S. Buck [1] in ihren Büchern eindrücklich beschrieben, zu vermeiden. So wird das «Fluss-Wesen» Jangtse, das zusammen mit jenem des nördlich gelegenen «Gelben Flusses» die Ursprungslandschaft der chinesischen Zivilisation bildet, gleichzeitig geliebt und gefürchtet.

Tausende von Dämmen

Seit den 1950er-Jahren hat die Bändigung der 6300 km langen Lebensader des Jangtse, von der mittlerweile etwa 350 Millionen Menschen abhängen, allerdings groteske Ausmasse angenommen: Über 45 000 Dämme im Einzugsgebiet haben Abflussregime und Schwebstoff-

führung massiv verändert. 143 davon haben Staukapazitäten über 100 Mio. Kubikmeter, darunter auch der umstrittene Drei-Schluchten-Damm. Von den 500 Mio. Tonnen Sediment, die früher jährlich das Ostchinesische Meer erreichten, kommt heute noch etwa ein Drittel an. Das führt dazu, dass das Delta vor Shanghai immer stärker erodiert wird. Dem Drei-Schluchten-Stausee, der seit 2003 gefüllt wird, mussten bis heute 1,4 Mio. Menschen weichen. In absehbarer Zeit werden weitere 4 Millionen wegziehen müssen, da die Ufer des 600 km langen Sees stellenweise zu erodieren beginnen.

Gigantische Umleitung

Noch wenig bekannt ist ein anderes Grossprojekt, das seit 2003 im Bau ist. Es soll Wasser aus dem Einzugsgebiet des Jangtse nach Norden in die ausgetrockneten Flüsse der wasserhungrigen Industriezentren bringen, wo die Intensivierung der Landwirtschaft, die Ausdehnung der Wüsten und die Kohle-, Zement- und Papierindustrien

Mineraldünger, Pestizide und ungeklärte Abwässer gelangen in den Jangtse, der auch zur Müllbeseitigung missbraucht wird. Mühsam wird hier Unrat aus dem Dreischluchten-Stausee gefischt. (Bild: das-fotoarchiv.com/Xinhua). Oben: Auf über 280 Stoffe wurden die Wasserproben analysiert – teils direkt auf einem der zwei Forschungsschiffe. (Bild: baiji.org Foundation)

¹ August Pfluger ist Geschäftsführer der baiji.org Foundation mit Büros in Zürich und Wuhan.

Erstmals mit internationaler Beteiligung

Die «Yangtze Freshwater Dolphin Expedition» wurde von der Schweizer Stiftung baiji.org zusammen mit dem Institut für Hydrobiologie in Wuhan organisiert. Unter dem Patronat des chinesischen Landwirtschaftsministeriums schloss das Unternehmen Forschende aus sechs Ländern zusammen, darunter auch die Autoren dieses Beitrages aus der Eawag. Es war das erste Mal, dass China eine derart detaillierte Untersuchung des Jangtse mit internationaler Beteiligung zuließ. Hauptziel der Expedition war, mehr zu erfahren über die Gründe für das Verschwinden des Weissen Delfins, des Baiji, und der ebenso bedrohten Tümmlerart *Neophocaena phocaenoides asiaorientalis*. Das Projekt wurde unter anderen unterstützt von der Direktion für Entwicklungszusammenarbeit (Deza), der weltweit tätigen Société Générale de Surveillance (SGS), der Bank Pictet sowie durch Firmen wie Canon, Victorinox und Katadyn.

zu einem immer akuterem Wassermangel geführt haben. Dieses weltweit grösste Umleitungsprojekt soll umgerechnet rund 45 Milliarden Euro kosten und jährlich 50 Milliarden Kubikmeter Wasser umverteilen – im Durchschnitt sind das 1500 m³/s. Zum Vergleich: Der durchschnittliche Abfluss der Reuss aus dem Vierwaldstättersee beträgt 110 m³/s.

Suche nach dem Baiji

Im November 2006 hat sich die Eawag an einer internationalen Expedition beteiligt, die sich auf die Suche nach dem Weissen Flussdelfin (*Lipotes vexillifer*) im Jangtse gemacht hat. Das fast schon legendäre Tier wird von den Chinesen Baiji genannt und ist ähnlich dem Panda ein nationales Symbol. Beinahe wäre der Baiji als Emblem für die Olympischen Spiele 2008 in Beijing auserkoren worden. Zum Ziel gesetzt hatten wir uns, auf der 1700 km langen Flussstrecke zwischen dem Drei-Schluchten-Damm und der Mündung des Jangtse ins Ostchinesische Meer Wasser- und Partikelproben zu nehmen, um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Wasserqualität und dem Verschwinden des Delfins

Ein weisser Flussdelfin – Baiji – in Aquarium von Singapur (baiji.org Foundation)



Mit 6300 Kilometern Länge ist der Jangtse der längste Fluss Asiens. Rund 1600 Flusskilometer liegen zwischen dem Drei-Schluchten-Damm und der Mündung bei Shanghai. Die Höhendifferenz auf dieser Strecke beträgt gerade mal 35 Meter.

zu klären. Schon 1979 hat der Berner Zoologieprofessor Giorgio Pilleri vorausgesagt, dass der Baiji durch die zunehmende Zerstörung seines Lebensraums stark bedroht werde. Pilleri war von chinesischen Forscherkollegen eingeladen worden und hat den Weissen Flussdelfin als erster ausländischer Forscher gesehen. In seinem persönlichen wissenschaftlichen Tagebuch erzählt er eindrücklich von diesem Abenteuer zu einer Zeit, als in «Rotchina» individuelles Reisen noch nicht möglich war [2].

Die Crew von Walforschern aus China, USA, Kanada, Grossbritannien und Japan, die während sechs Wochen mit zwei Schiffen den Fluss absuchten, fand die düstere Prognose von Pilleri bestätigt: Es wurde kein Weisser Delfin mehr gesehen [3]. Unser Team sammelte täglich Wasserproben und suspendiertes Material und analysierte in diesen Proben über 280 Stoffe, zum Teil direkt auf dem Boot, zum Teil in den Laboratorien der Schweizer Firma Société Générale de Surveillance (SGS) in Shanghai und Perth sowie an der Eawag. Diese Messkampagne, die umfassendste, die je am Jangtse durchgeführt wurde, gibt ein gutes Bild über die Wasserqualität eines der wichtigsten Flüsse in einem Land, das in unvorstellbar schnellem Wandel begriffen ist [4].

Überraschende Ergebnisse

Die Ergebnisse waren im ersten Moment überraschend und unerwartet: Die Konzentrationen fast aller analysierten Parameter waren erstaunlich niedrig, obwohl der Jangtse weltweit als einer der am meisten verschmutzten Flüsse gilt. Wer aber den mächtigen Jangtse, der schon im Mittellauf mehr als zwei Kilometer breit sein kann, erlebt hat, versteht, dass sich die beiden Feststellungen nicht widersprechen müssen: Die immensen Stoffeinträge durch die Landwirtschaft und die Einleitung industrieller und – meist ungeklärter – häuslicher Abwässer werden im Hauptlauf des Flusses durch seine riesigen Wassermengen enorm stark verdünnt. An der Mündung fließen im Jahresmittel rund 32 000 m³/s – gut 30 Mal so viel wie im Rhein bei Basel. Die Wasserqualität der Seitenzuflüsse und des Grund- und somit Trinkwassers wird durch die grossen Verschmutzungen aber lokal massiv beeinträchtigt.

Über weite Strecken ist der Jangtse durch bis zu 15 m hohe Seitendämme kanalisiert, und die Zuflüsse werden durch Schleusen reguliert. Die früher natürlichen, saiso-



Über Nacht wurden solche Netze der Strömung ausgesetzt, um suspendierte Partikel zu sammeln. Im Labor wurden die Proben dann auf Schwermetalle, Nährstoffe und organische Industriechemikalien untersucht.

Schwermetalle	kg/Tag
Zink	10 000
Chrom	6300
Arsenic	4600
Blei	3000
Antimon	900
Selen	340
Cadmium	75
Thallium	54
Quecksilber	20

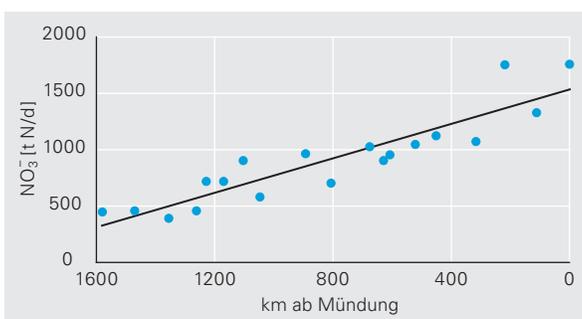
Kleine Konzentrationen – hohe Frachten: Die hohe Abflussmenge im Jangtse hat zwei Seiten: Zum einen sorgt sie dafür, dass belastende Stoffe so stark verdünnt werden, dass ihre Konzentrationen kaum akut toxische Wirkungen zeigen. Zum anderen verwischen die relativ kleinen Konzentrationen aber die Tatsache, dass die insgesamt ins Ostchinesische Meer getragenen Frachten riesig sind.

nalen Überflutungen des flachen Landes werden damit verhindert und im Mittel- und Unterlauf grosse Flächen für die Landwirtschaft trockengelegt. Vielerorts ist der Austausch mit dem Grundwasser und dessen Erneuerung dadurch beeinträchtigt, was sich negativ auf die Trinkwasserqualität auswirkt.

1500 Tonnen Stickstoff pro Tag

Trotz der niedrigen Konzentrationen belasten die Stofffrachten des Jangtse das Ostchinesische Meer massiv: Die mehr als 1500 Tonnen Stickstoff, vor allem von Mineraldüngern und ungeklärten Haushaltabwässern, die täglich ins Ostchinesische Meer fliessen, sind mitverantwortlich für Blaualgenblüten und für die immer häufiger auftretenden «Red Tides». Darunter versteht man eine explosionsartige Vermehrung von Dinoflagellaten (vor allem der Alge *Karenia brevis*), die toxisch sein können für alles marine Leben bis hin zu Buckelwalen und Delfinen. Am Meeresgrund verursachen die abgestorbenen Algen zudem eine hohe Sauerstoffzehrung. Benthische Organismen, die Nahrungsgrundlage vieler Fische, verlieren ihren Lebensraum.

Schwermetallgehalte, deren Konzentrationen zwar meist sowohl schweizerischen als auch europäischen Richtwerten genügen würden, ergeben, multipliziert mit der Wassermenge, riesige Frachten, welche der Jangtse täglich ins Meer trägt: 4600 kg Arsen, 3000 kg Blei, 900 kg Antimon (siehe Tabelle). Diese Schwermetalle gelangen zusammen mit schwer abbaubaren organischen Herbiziden



Zunahme der Stickstofffracht vom Dreischluchtendamm bis zur Mündung.



Der immense Schiffsverkehr auf dem Jangtse dürfte mit zum Verschwinden des Baiji beigetragen haben.

den und Pestiziden in die Nahrungskette und werden in Fischen und Schalentieren wieder gefunden.

Nur ein Faktor unter mehreren

Auch wenn wir mit unserer Studie synergistische Wirkungen von verschiedenen Chemikalien, Langzeiteffekte oder Wirkungen von endokrinen Substanzen nicht ausschliessen können, scheint die Verschlechterung der Wasserqualität des Jangtse für das Aussterben des Weissen Flussdelfins sowie für das Verschwinden des chinesischen Störs und eines endemischen Kleinwals nur *ein* zusätzlicher negativer Faktor gewesen zu sein. Wesentlich dazu beigetragen haben sicherlich die Zerstörung der Lebensräume, die starke Kanalisierung des Flusses, das Abschneiden von Seitengewässern und die Trockenlegung von Flachseen – den Kinderstuben vieler Fische –, die Überfischung mit unspezifischen Fangmethoden sowie der immense Frachtverkehr auf dem Jangtse.

Da die Wasserführung und somit auch die chemische Qualität des Jangtse im Jahresverlauf stark variieren, zeigen unsere Daten nur eine Momentaufnahme. Vergleiche mit früheren Messungen belegen aber für die Konzentrationen von Stickstoff, Metallen und organischen Chemikalien eine zunehmende Tendenz. Das bedeutet einen zunehmenden Druck auf das Flussökosystem, die Küstengewässer des Ostchinesischen Meeres und damit auf die Lebensqualität von gut 350 Millionen Menschen. Der Ausbau eines zuverlässigen Überwachungsnetzes mit Monitoring-Stationen und die Umsetzung gezielter Massnahmen müssen nun von China provinzenübergreifend geleistet werden. Als Vergleich könnten die Programme und Massnahmen dienen, welche die Rheinanaliegrstaaten im Rahmen der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins IKSR ergriffen haben. ○ ○ ○

- [1] Buck Pearl S.: Die gute Erde (1931); Söhne (1933); Das geteilte Haus (1935).
- [2] Pilleri G. (1980): Forschungsreise nach China zum Studium der Delphine des Chang Jiang (Yang Tze Kiang). Verlag des Hirnanatomischen Institutes, Waldau-Bern.
- [3] Turvey S.T., Pitman R.L., Wang D. et al. (2007): First human-caused extinction of a cetacean species? Biol. Lett; doi: 10.1098/rsbl.2007.0292.
- [4] Müller B., Berg M., Yao Z.P., Zhang X.F., Wang D., Pfluger A.: How Polluted is the Yangtze River? Eingereicht Sci. Tot. Environ.

www.iksr.org, www.baiji.org

Künstliche Hochwasser verbessern die Ökologie

Auf einer Restwasserstrecke des Flusses Spöl im Schweizer Nationalpark wurde das Abflussregime mit künstlichen Hochwassern dynamischer gestaltet. Das führte zu einer deutlichen Verbesserung des ökologischen Zustandes dieses Flussabschnitts. Es dauerte aber drei Jahre, bis sich ein Gleichgewicht zwischen den veränderten Umweltbedingungen und den Lebensgemeinschaften von Pflanzen und Wirbellosen eingestellt hat. Christopher T. Robinson, Urs Uehlinger

Weltweit verändern mehr als 45 000 Staudämme (höher als 15 m) Abfluss, Temperatur und Gewässermorphologie von Flüssen und Strömen. Auf die Biodiversität der betroffenen

Die Vielfalt der Lebensräume hat deutlich zugenommen.

Gewässer wirkt sich das negativ aus. Die Kriterien des Abflussregimes, wie Dynamik und Temperatur, spielen darum eine zunehmend wichtigere Rolle bei Renaturierungsprojekten.

Um das ursprüngliche, natürliche Abflussregime zu simulieren, wird vermehrt mit künstlichen Hochwassern gearbeitet.

Mehr Laichgruben

Am Spöl im Nationalpark bietet ein solches regimiebasiertes Gewässermanagement mit einem bis drei künstlichen Hochwassern pro Jahr seit 2000 Gelegenheit, die langfristigen Auswirkungen einer Regimeveränderung auf ein Fließgewässer zu studieren.

Die künstlichen Hochwasser haben keinen Einfluss auf die physika-

lisch-chemischen Umweltbedingungen, da sowohl das Dotierwasser (1,2 m³/s) als auch die Hochwasser (10–55 m³/s) aus dem Tiefenwasser des Livignostausees stammen. Im ersten Jahr verschwand der dichte Moosbewuchs. Biomasse und Artenvielfalt der Wirbellosen wurden deutlich reduziert, nicht aber deren Dichte. Nach dem dritten Jahr verharrten die Biomasse der Algen sowie die Dichte der Wirbellosen auf einem deutlich niedrigen Niveau. Die einzelnen Arten der Wirbellosen reagierten unterschiedlich auf die Hochwasser: Reduktion oder Zunahme der Individuendichte oder Zunahme mit anschließender Reduktion im 3. Jahr. Die Zahl der beobachteten Forellenlaichgruben vervierfachte sich im Laufe der Untersuchung, was auf erhöhte Durchströmung der Gewässersohle zurückzuführen ist.

Neue Gemeinschaft ist angepasster

Die grossen zeitlichen Schwankungen von Biomasse und Dichte von Algen und Wirbellosen zeigen, dass während der ersten 3 Jahre die Lebensgemeinschaften nicht im Gleichgewicht standen mit den veränderten Umweltbedingungen. Betrachtet man die einzelnen Hochwasser, so fällt auf, dass die unmittelbare Beeinträchtigung der Wirbellosen zu Beginn der Hochwasserreihe 30 % stärker war als heute. Die heutige Lebensgemeinschaft reagiert offenbar viel elastischer auf die Störungen durch Hochwasser.

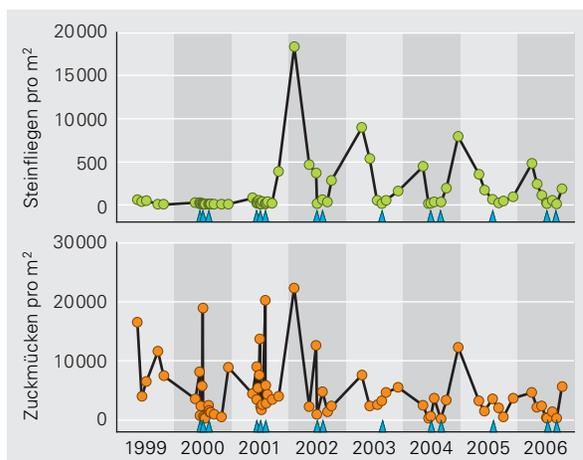
Das Hochwasserprogramm hat den ökologischen Zustand der Restwasserstrecke im Spöl unterhalb der Staumauer von Punt dal Gall verbessert. Die Vielfalt der Lebensräume hat deutlich zugenommen, die für



Die künstlichen Hochwasser im Spöl erodieren Schwemmkegel von Seitenbächen, welche den Fluss sonst zurück stauen.

alpine Bergbäche untypische Moosbedeckung ist verschwunden, die Zusammensetzung der Wirbellosengemeinschaft verschob sich zu Gunsten störungsresistenter Arten und die Bedingungen für die Fortpflanzung der Bachforellen wurden deutlich verbessert.

Im vorliegenden Fall dauerte es drei Jahre, bis sich die Auswirkungen des neuen Abflussregimes voll entfalten. Zwar wurde die natürliche Dynamik des Spöls nur zum Teil wiederhergestellt; zwischen den Hochwassern ist der Abfluss konstant niedrig. Doch der Kompromiss führte für alle Beteiligten – Nationalpark, Kraftwerke, Fischerei – einvernehmlich zu einer Lösung, die letztlich der Ökologie des Spöls zugutekommt. ○○○



Zeitliche Veränderung der Steinfliege *Protonemura* sp. und der Zuckmücken im Spöl. Die blauen Dreiecke markieren die künstlichen Hochwasser.

Robinson C.T., Uehlinger U.: Artificial Floods Cause Catastrophic Regime Shift in a Regulated River. Applied Ecology, im Druck.

Robinson C.T., Uehlinger U. (2007): Using artificial floods for restoring river integrity. Aquatic Sciences 65,181–182.

Der Klang der Flüsse

Der Klang von Fließgewässern wurde bisher nicht systematisch erforscht. Doch vor allem bei alpinen Bächen und Flüssen kann der akustische Fingerabdruck helfen, deren ökologischen Zustand zu bewerten. Zugleich kann anhand des Klanges der ästhetische Wert von Gewässern beurteilt werden. Die Diskussion um den Wert vielfältiger Fließgewässer wird verschlicht. Diego Tonolla, Klement Tockner, Berit Junker (WSL), Kurt Heutschi (Empa)

Das Murmeln, Gurgeln, Plätschern und Tosen strömender Wassermassen wird seit jeher beschrieben und von Dichtern in poetische Worte gefasst. Doch systematisch erforscht wurde der Klang von Bächen und Flüssen bisher nicht. Mit natur- und sozialwissenschaftlichen Methoden haben wir daher untersucht, wie sich Flusslebensräume akustisch unterscheiden, und ob wir die Veränderungen ihrer morphologischen Qualität akustisch wahrnehmen können.

Vier typische Lebensräume

Vier flusstypische Lebensräume wurden hydromorphologisch und akustisch charakterisiert:

- ▶ **Stillen:** tiefe, langsam fließende Abschnitte.
- ▶ **Schnellen:** Furten, an der Oberfläche stark bewegtes Wasser.
- ▶ **Gleiten:** gleichmässige, gradlinige Abschnitte zwischen Stille und Schnelle oder kanalisierte Gewässer.
- ▶ **Stufen:** kleine Abstürze über natürliche Steine im Flussbett.

Zusätzlich wurden entlang von drei 8–23 km langen Flussläufen (Thur, Tagliamento in Italien und North Fork in Montana, USA) kontinuierliche Unterwasseraufnahmen durchgeführt. Damit lassen sich die räumliche Anordnung von Lebensräumen und

Bereiche verstärkten Sedimenttransportes bestimmen.

Es gibt habitatspezifisch eindeutige Klangmuster: Schnellen zeigen eine bimodale Frequenzverteilung, während kleine Abstürze ein Maximum im Frequenzbereich 160 Hz bis 2 kHz aufweisen. Laborexperimente ergeben, dass die Rauigkeit der Gewässersohle und die Fließgeschwindigkeit für die Klangerzeugung die zentralen Rollen spielen.

Klang steigert Attraktivität

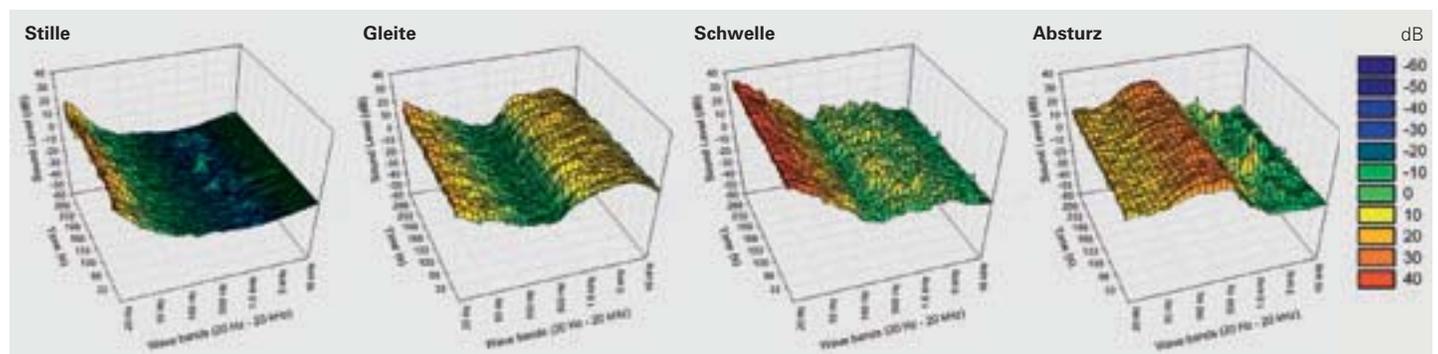
Um dem Zusammenhang zwischen der visuellen und akustischen ästhetischen Bewertung von Flüssen auf die Spur zu kommen, haben wir insgesamt 1079 Personen verschiedene Videosequenzen vorgespielt. Die repräsentative Erhebung in der Deutschschweiz zeigt: Bild und Klang von revitalisierten Flussabschnitten werden gegenüber nicht revitalisierten Bereichen als klar attraktiver bewertet. Wird den Befragten nur der Ton der Videosequenz vorgespielt, ist der Zusammenhang etwas weniger deutlich. Die Wahrnehmung des Klanges von Flüssen wird also durch das Sehen beeinflusst. Doch nicht nur, ob Flüsse revitalisiert sind, hat Einfluss darauf, wie wir ihren Klang wahrnehmen. Auch der Abfluss spielt



Akustische Aufnahme am Inn bei Strada.

eine wesentliche Rolle: So werden Flussabschnitte mit niedrigen Abflüssen, die unter der gesetzlich vorgeschriebenen Restwassermenge liegen, als weniger attraktiv bewertet als Abschnitte mit mittleren Abflüssen. Häufig werden jedoch gerade diese mittleren Abflussmengen im Zuge der Wasserkraftnutzung vermindert.

Das Projekt ist auf grosses Medieninteresse gestossen. Wir wollen nun ein einfaches Instrument entwickeln zur Bewertung der ökologischen Integrität der Gewässer. Der bisher rein visuell erfasste ästhetische Landschaftswert wird um die klangliche Komponente ergänzt. ○○○



Unterwasser-Sonogramm verschiedener Lebensräume. In der Fläche: Zeit (5 Minuten) und Frequenz (von 20 Hz bis 16 kHz); senkrecht: Lautstärke in relativen dB.

Wie naturnah ist die revitalisierte Thur?

Entwickeln sich in revitalisierten Fließgewässern tatsächlich naturnähere Artengemeinschaften? Fischökologische Untersuchungen in Flussaufweitungen an der Thur zeigen, dass der Lebensraum in grossen Aufweitungen zwar vielfältiger ist als in kanalisiertem Verlehnungsraum, die Fischgemeinschaft aber noch von einer naturnahen Zusammensetzung abweicht. Christine Weber, Armin Peter

Ein weit verzweigter Fluss in einem breiten Kiesbett: So präsentiert sich die Thur bei Niederneunforn auf der 150-jährigen Wild-Karte. Um 1892 zählt Wehrli im vielfältigen Flusslebensraum 22 Fischarten. Die strömungsliebenden Barben, Nasen, Schneider und Strömer dominieren die Gemeinschaft. Auch Bachforellen und Groppen sind häufig – zwei Arten, die kühles Wasser bevorzugen. Und jedes Jahr wandern Lachse und Flussneunaugen aus der Nordsee über den Rhein ein, um zu laichen.

Uferlänge mehr als halbiert

Ende des 19. Jahrhunderts wird die Thur grossräumig kanalisiert. Hochwasserschutz und Landgewinnung sind die Ziele. Bei Niederneunforn nimmt die Uferlänge pro Fließkilometer von 4,5 km auf knapp 2 km

ab. Damit reduziert sich der für den Fluss wichtige Austausch mit dem umgebenden Land gewaltig. Überschwemmte Flächen fehlen, und der Eintrag von Totholz geht

zurück. Trotz der Korrektur verursachen Hochwasser weiterhin grosse Schäden (Ereignisse von 1965, 1977, 1978). Ein Umdenken im Wasserbau führt ab 1990 zur Realisierung von 15 zunehmend grösser dimensionierten Flussaufweitungen.

2005 haben wir im Sommer und im Winter in den drei grössten Aufweitungen (Gütighausen, Niederneunforn, Pfyn) sowie in fünf kanalisiertem Abschnitten elektrische Befischungen durchgeführt und mit Hilfe von GPS exakte Karten der Fischlebensräume erstellt. In den Kanalstrecken und der kürzesten Aufweitung (<300 m) dominieren monotone Fließverhältnisse (mittlere Tiefe, mittlere Fließgeschwindigkeit), während in den beiden längeren Aufweitungen auch seichte Uferzonen sowie tiefe Schnellen häufig sind. Zusätzlich ist die Uferlinie hier deutlich länger. Jedoch liegen alle heutigen Uferlängen markant unter jenen von 1850.

Refugien bei Hochwasser

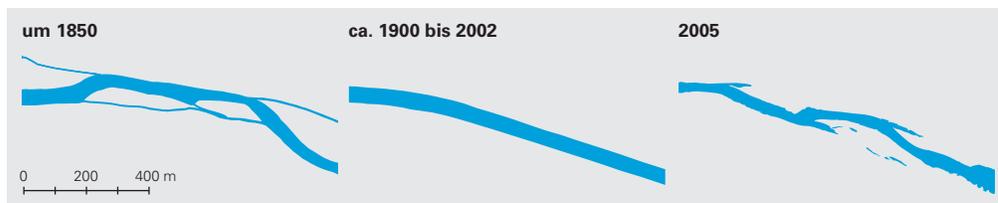
Mit 20 Arten beobachten wir eine erfreulich reiche Fischgemeinschaft, deren Zusammensetzung und Individuendichte sich in den kanalisiertem und aufgeweiteten Abschnitten aber nicht unterscheiden. Das Fischvorkommen ist generell tief, wobei die gut strukturierten Lebensräume mehr Fische beherbergen – egal ob sie in kanalisiertem oder revitalisiertem Abschnitten liegen. Die grössten Fischdichten finden wir in den tiefen, strömungsberuhigten Hinterwassern, wie sie nur in den revitalisiertem Abschnitten vorkommen. Sie sind wichtige Refugien bei Hochwasser oder im Winter. Verglichen mit

der historischen Artenzusammensetzung sind heute die anspruchsvollen Arten deutlich untervertreten, der tolerante Alet dominiert. Bachforellen und Groppen sind nur noch als Einzeltiere im Fang vertreten (0,5 %).

Auswirkungen erst lokal

Die Vielfalt des Lebensraumes kann durch grosse Flussaufweitungen erhöht werden. Die beobachtete schwache Reaktion der Fischgemeinschaft widerspiegelt allerdings noch vorhandene Defizite wie beispielsweise die geringe Temperaturvielfalt. Zudem gilt es die Lebensraumsituation in der gesamten Thur zu beachten: In 65 % der unteren 90 km des Flusses ist die Morphologie nach wie vor deutlich beeinträchtigt, der Fluss ist durch Stauwehre fragmentiert oder führt Restwasser. Auch dürfte die Besiedlung des revitalisiertem Lebensraums noch nicht abgeschlossen sein. Eine mehrjährige Erfolgskontrolle ist deshalb sinnvoll. ○ ○ ○

Flussaufweitungen bieten Rückzugsräume an, die auf kanalisiertem Abschnitten fehlen.



Die Thur bei Niederneunforn im Laufe der Zeit. Der Flusslauf wurde von topografischen Karten digitalisiert und 2005 mit GPS im Feld erhoben.

Diese Studie ist im Rahmen des *Rhone-Thur-Projekts* entstanden, einem transdisziplinären Forschungsprojekt von Eawag, WSL, VAW, Bafu und EPFL. Das Projekt wurde Ende 2005 abgeschlossen (siehe Eawag-Jahresbericht 2006), ein Modul zu flussbaulichen Massnahmen der EPFL 2007. Die Revitalisierungsthematik wird vom Nachfolgeprojekt «Integriertes Flussgebietsmanagement» mit denselben Partnern weiterverfolgt. www.rivermanagement.ch

Wehrli E. (1892): Fischleben der kleinen thurg. Gewässer – Beitrag zu einer Fauna des Kantons Thurgau. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft 10, 61–104.

Weber C., Schager E., Peter A.: Habitat diversity and fish assemblage structure in local river widenings: a case study on a Swiss river; accepted in River Research and Applications.

Europas Flüsse unter Druck

Allein die Donau entwässert Gebiete von 18 Ländern und ist damit weltweit der internationalste Fluss. Für die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist die hydrogeografische, ökologische und kulturelle Vielfalt Europas eine besondere Herausforderung. Das Projekt «Rivers of Europe» liefert die Grundlagen, damit die für alle Einzugsgebiete verlangten Managementpläne erstellt werden können. Klement Tockner¹, Urs Uehlinger, Christopher Robinson, Diego Tonolla, Rosi Siber, Fabian Peter

Im Rahmen des Projektes «Rivers of Europe» wird unter Federführung der Eawag erstmals der ökologische Zustand von 165 europäischen Einzugsgebieten beschrieben. Diese entwässern knapp 8 Mio. km², mehr als 70 % der Gesamtfläche Europas. 7 der 10 grössten Flussgebiete liegen in Osteuropa, darunter die Pechora oder der Dnieper, Ströme, die für viele noch weitgehend unbekannt sind. Anhand dieser Datenbank kann erstmals ein europaweiter Vergleich von Zustand und Gefährdung der biologischen Vielfalt vorgenommen werden. Diese Informationen bilden eine wesentliche Grundlage zur Planung von Schutz- und Managementstrategien, wie sie von der europäischen Wasserrahmenrichtlinie gefordert werden.

Nur noch wenige Referenzen

Europaweit weisen nur noch wenige Flüsse einen relativ natürlichen Charakter auf. Neben Flüssen im

äussersten Norden zählen dazu die Frome in England, der Tagliamento in Italien oder der Ural im Grenzbereich von Russland und Kasachstan. Diese Flüsse sind somit Referenzökosysteme von kontinentaler Bedeutung. Die meisten Einzugsgebiete sind jedoch anthropogen massiv beeinträchtigt. Mehr als 6000 grosse Dämme unterbrechen den Lauf der europäischen Flüsse. Die prognostizierte Zunahme von Abflussexremen und der steigende Wasserbedarf für die Landwirtschaft verstärken den Druck auf die Gewässer. Bis 2070 wird sich die Einzugsgebietsfläche, die ein massives Wasserdefizit aufweist, von derzeit 1,3 Millionen km² (18 % der berücksichtigten Gesamtfläche) auf voraussichtlich mehr als 2,5 Millionen km² verdoppeln.

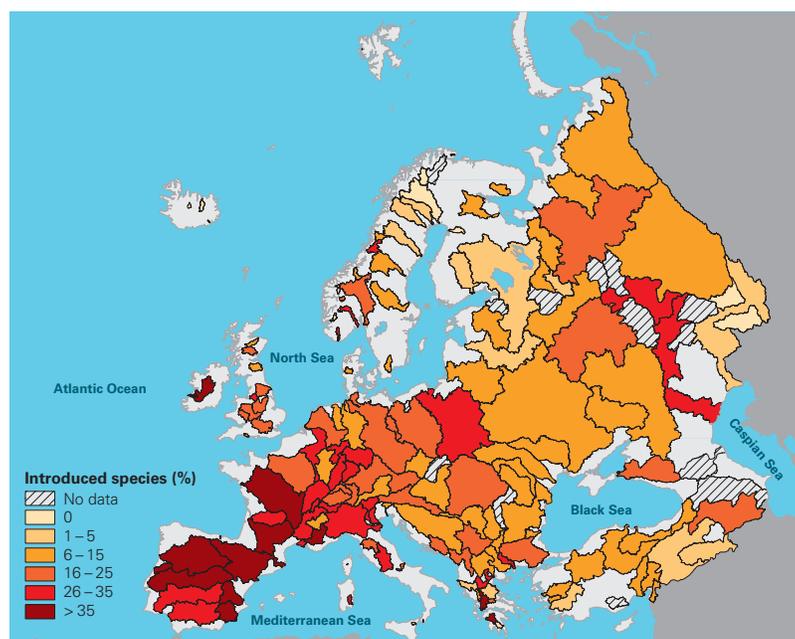
Vereinheitlichung nimmt zu

Der Anteil exotischer Arten ist teils heute bereits sehr hoch. So sind bis zu 50 % der Fischarten im Ebro, der

Seine oder dem Shannon (Irland) nicht heimischen Ursprungs (siehe Karte). Zugleich sind bis zu 40 % der ursprünglich heimischen Fischarten, wie etwa in Flüssen der Iberischen Halbinsel, verschwunden. Betroffen sind vor allem Arten, die über lange Distanzen wandern, wie Störe oder der Atlantische Lachs. Bei Flusskrebsen sieht das Bild noch dramatischer aus. Neben sechs heimischen Arten kommen heutzutage sieben weitere Arten in Europa vor. Viele Einzugsgebiete, die natürlicherweise krebsfrei waren, werden nun von Exoten dominiert. Insgesamt ist es in Europa zu einer massiven Vereinheitlichung der natürlichen Süsswasserfauna gekommen.

Die europäische Süsswasserfauna steht unter Druck. Am stärksten beeinträchtigt ist die biologische Vielfalt der mediterranen Einzugsgebiete (Iberische Halbinsel, Italien, Balkan und Türkei), wo ursprünglich eine besonders reiche und schützenswerte Fauna und Flora heimisch waren. So sind 45 % der Fische und knapp 30 % der Amphibien der Iberischen Halbinsel endemisch, das heisst, sie kommen ausschliesslich dort vor. Gleichzeitig sind diese Gebiete besonders betroffen von Veränderungen im Zuge des Klimawandels, wie Abnahme des Abflusses, Änderung der Landnutzung und Ausbreitung exotischer Arten. Es sind diese Flüsse, die daher oberste Priorität besitzen in der Entwicklung paneuropäischer Schutz- und Revitalisierungsprojekte. ○ ○ ○

In Iberiens Flüssen sind 40 Prozent der einheimischen Fischarten verschwunden.



Kartografie F. Peter, D. Tonolla

Der relative Anteil exotischer Fischarten in den Einzugsgebieten Europas.

¹ Eawag und Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB), Berlin

Wenn die Umwelt Artengrenzen setzt

In den Schweizer Seen sind mindestens 24 Felchenarten bekannt. Untersuchungen im Neuenburgersee haben nun nachgewiesen, dass es auch Übergangsformen gibt, die mit den bekannten Arten koexistieren, aber nicht befischt oder gehegt werden. Natürliche oder vom Menschen ausgelöste Umweltveränderungen können dabei das Entstehen und Verschmelzen von Arten stark beeinflussen. Pascal Vonlanthen, Denis Roy, Alan Hudson, David Bittner, Carlo Largiadèr, Ole Seehausen

Seit der Wiederbesiedlung des Alpenraumes nach der letzten Eiszeit haben sich die Felchen in den Schweizer Seen in zahlreiche Arten aufgespalten. Sie haben sich auf verschiedene Nischen spezialisiert, so dass sich die Populationen untereinander nicht mehr frei fortgepflanzt haben, obwohl sie teilweise räumlich nicht voneinander isoliert sind.

Palées und Bondelles

Im Neuenburgersee wurden bisher nur zwei Felchenarten unterschieden: Eine schnellwüchsige Art, «Palée» (*Coregonus palaea*) genannt, und eine langsamwüchsige Art, die «Bondelle» (*Coregonus candidus*).

Diese zwei Arten unterscheiden sich in einigen ökologisch relevanten morphologischen Merkmalen wie der Anzahl Kiemenreusendornen, aber auch in der Habitatwahl während der Fortpflanzung. Die Pa-

alées laichen eher früh im Dezember in Flachwasserbereichen, die Bondelles eher in Tiefen unter 50 m und später, im Januar. Einige Publikationen und die Erfahrung der Fischer weisen aber darauf hin, dass auch Zwischenformen vorkommen könnten.

Wir haben die Tiefenverteilung, zum ersten Mal überhaupt bei Felchen, mit genetischen und morphologischen Methoden untersucht. Die Resultate zeigen, dass es im Neuenburgersee tatsächlich nicht zwei Felchenarten gibt, sondern einen ökologischen, morphologischen und genetischen Übergang zwischen den zwei ursprünglich beschriebenen Extremen. Ökologische Isolationsmechanismen haben eine totale Verschmelzung zu einer einzigen homogenen Art bisher offenbar verhindert. Der wichtigste Mechanismus ist dabei wahrscheinlich die Spezialisierung auf unterschiedliche Nahrungsnischen. Stark genug, um eine vollständige genetische Differenzierung herbeizuführen, ist dieser Selektionsdruck aber derzeit auch nicht.

Unsere Daten legen nahe, dass die funktionelle Vielfalt von Felchen sehr direkt auf Veränderungen in der Ökologie der Seen reagiert. Bricht die Nischenstruktur zusammen, kann die Artenvielfalt innerhalb von wenigen Generationen verloren gehen. Im Fall der Felchen vermuten wir, dass die Sauerstoffknappheit im tiefen Wasser in den Jahrzehnten der Seen-Überdüngung die Arten ökologisch näher zusammenrücken und genetisch verschmelzen liess.

Übergangsformen kaum befischt

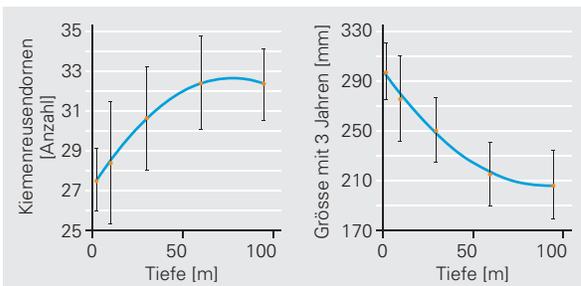
Es ist denkbar, dass die Gesundung des Neuenburgersees in jüngerer Zeit die ursprüngliche Nischenstruktur wieder verstärkt hat und dass die Felchen sich derzeit wieder zu differenzieren beginnen. Konsequenzen könnte auch die Auslese durch die Fischerei haben: Die Fischer fischen nämlich aus ökonomischen Gründen gezielt auf die grösseren Palées oder auf die kleineren Bondelles; die Übergangsformen werden

Was ist eine Art?

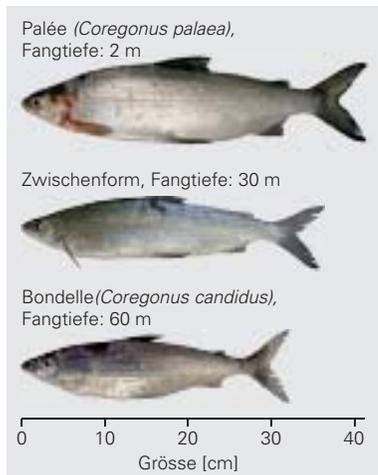
Die Evolutionsbiologie kennt verschiedene Artkonzepte. Allen gemeinsam ist, dass Populationen von Organismen verschiedenen Arten zugeordnet werden, wenn sie in der Natur über viele Generationen im selben Lebensraum koexistieren ohne genetisch miteinander zu verschmelzen. Viele Arten hybridisieren gelegentlich, aber bleiben differenziert, wenn es Mechanismen gibt, die den Genfluss gering halten. Die Definition der Art als Gruppe von Individuen, die sich mit solchen anderer Arten nicht kreuzen können, ist längst überholt.

also ungewollt geschont. Um noch besser erklären zu können, wie sich Umweltveränderungen auf die Differenzierung und Vermischung der Felchenarten auswirken, haben wir begonnen, historische Datenreihen auszuwerten. ○ ○ ○

Das Wissen über Entstehung oder Verlust von Felchenarten hilft, Fischerei- und Schutzvorschriften zu optimieren.



Gradient entlang der Fangtiefe für zwei morphologische Merkmale der Felchen im Neuenburgersee: die Anzahl Kiemenreusendornen (links) und die Grösse (rechts).



Beispiele der im Neuenburgersee gefangenen Felchen (Fotos: P. Vonlanthen und A. Hudson).

www.fishecology.ch
Seehausen O., Takimoto, G., Roy, D.,
Jokela J. (2008): Speciation reversal
and biodiversity dynamics with hybridization in changing environments;
Molecular Ecology 17, 30–44.

Schmarotzer und redliche Schaffer in Mikroökosystemen

Die Wechselwirkungen zwischen Arten sind seit langem ein zentrales Thema der Ökologie. Doch die Konsequenzen, die sich daraus für Prozesse in Ökosystemen ergeben, sind weitgehend unerforscht. Diese könnten sich aber dramatisch verändern, wenn heimische Arten verloren gehen oder fremde eingeschleppt werden. Sonja Raub, Christian Dang, Françoise Lucas, Eric Chauvet, Mark Gessner

Erst wenn man versteht, wie sich verschiedene Arten in einer Lebensgemeinschaft gegenseitig beeinflussen, ist es möglich, die Bedeutung der Artenvielfalt auf Ökosystemprozesse abzuschätzen. In unseren Versuchen haben wir modellhaft den Abbau von Laubstreu durch Bakterien und Pilze betrachtet – einen Prozess, der in vielen Fließgewässern ebenso zentral ist wie in Wäldern. Wir wollten wissen, welche Wechselwirkungen zwischen Bakterien und Pilzen bestehen. Gibt es Synergien oder herrscht Antagonismus vor? Und was folgt daraus für die Geschwindigkeit des Streuabbaus?

Streuabbau in Mikrokosmen simuliert

Zunächst isolierten wir aus einem Fließgewässer jeweils 6 verschiedene Bakterien- und Pilzarten, die natürliche Laubstreu besiedelt hatten. Im Labor mischten wir diese Arten dann zu neuen Lebensgemeinschaften zusammen und liessen sie 10 Wochen lang auf steriler Erlenstreu in Mikrokosmen wachsen. Es gab reine Bakterien- und Pilzgemeinschaften mit je drei oder sechs Arten und zusätzlich gemischte Gemeinschaften mit je drei Bakterien- und drei Pilzarten. Ausserdem setzten

wir Kontrollmikrokosmen an, die gar nicht beimpft wurden.

Asymmetrische Wechselwirkungen und Abbauteppo

In den gemischten Mikrokosmen übten die Bakterien einen negativen Einfluss auf die Pilze aus. Pilze bildeten dort im Mittel 29% weniger Biomasse als in reinen Pilzmikrokosmen. Die Stärke dieser Hemmung war unabhängig davon, welche Bakterien und Pilze wir miteinander kombiniert hatten (Abb. 1a). Umgekehrt stimulierten die Pilze die Bakterien in einer der beiden getesteten Mischgemeinschaften (Abb. 1b). Auf die Geschwindigkeit des Streuabbaus hatte die Präsenz der Bakterien keinen Einfluss (Abb. 2). Vielmehr schmarotzten sie auf Kosten der redlich schaffenden Pilze, die durch ihre Abbauleistung die Ressource Laubstreu erschliessen.

Ganzheitlich beurteilen

Damit wird deutlich, dass Wechselwirkungen in mikrobiellen Lebensgemeinschaften selbst in einem stark vereinfachten System gleichzeitig zu synergistischen, antagonistischen oder neutralen Effekten führen können, und zwar je nachdem, welcher Ökosystemprozess – hier Streuabbau



Präzise definierte Mengen Erlenstreu wurden in einfachen Mikrokosmen mit den Pilz- und Bakteriengemeinschaften geimpft (links). Das Wachsen der Kulturen wurde dann in einer Klimakammer (rechts) beobachtet.

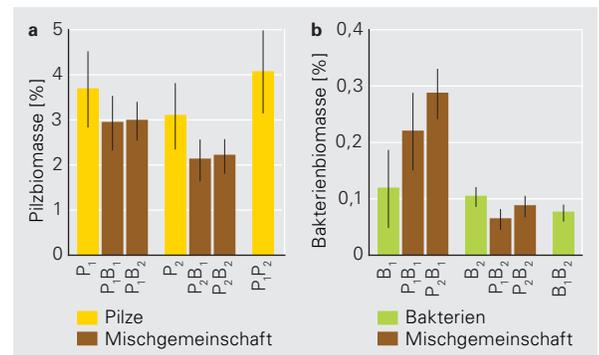


Abb. 1: Leistungen von Pilzen und Bakterien in Mikrokosmen ausgedrückt als Prozentsatz der zu Beginn vorhandenen Streumenge. Bakterien hemmen in Mischkulturen das Pilzwachstum (a) und können umgekehrt von Pilzen stimuliert werden (b).

oder Bildung von Biomasse durch Bakterien und Pilze – und welche Lebensgemeinschaft betrachtet werden. Es scheint deshalb nötig, alle wesentlichen Ökosystemprozesse ins Kalkül einzubeziehen, will man die Auswirkungen veränderter Lebensgemeinschaften durch Biodiversitätsverlust oder Einschleppung gebietsfremder Arten abschätzen. ○○○

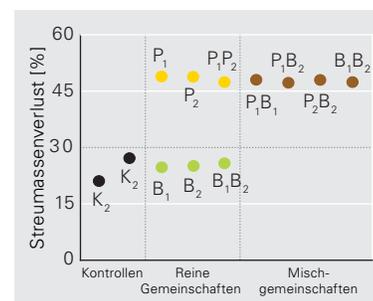


Abb. 2: Mikrobieller Streuabbau in Mikrokosmen: Trotz ihres Einflusses auf die streuzersetzenden Pilze leisten Bakterien weder einen positiven noch einen negativen Beitrag zur Zersetzung der Streu.

Raub S. (2007): Effects of fungal and bacterial interactions on leaf decomposition in stream microcosms. Diplomarbeit, IHE-UNESCO Universität Delft, Niederlande.

Klimawirksame Blähungen des Wohlensees

Die Treibhauswirkung von Methan ist 25 Mal höher als diejenige von Kohlendioxid. Daher kommt den Methanemissionen aus Stauseen mehr Bedeutung zu als bisher angenommen. Die Eawag hat am Wohlensee untersucht, wie und wie viel Methan vom Grund des Staus bis in die Atmosphäre gelangt. Es ist etwa so viel, wie 7000 Schweizer Kühe produzieren. Tonya Del Sontro, Torsten Diem, Carsten Schubert

Bei zehn Metern Wassertiefe erreicht etwa die Hälfte des Methans die Seeoberfläche und gelangt in die Atmosphäre.

Grosse Staudämme und die Überflutung von Gebieten mit Vegetation können zu erhöhten Emissionen von Kohlendioxid und vor allem von Methan führen. Methan hat gegenüber CO₂ eine rund 25 Mal höhere

Wirkung als Treibhausgas. Welche Prozesse die Methanemissionen der Stauseen steuern, ist noch wenig untersucht. Doch es scheint, dass der weitaus grösste Anteil des Gases in Blasen vom Sediment zur Wasseroberfläche gelangt. Die Blasen schützen das Methangas davor, oxidiert zu werden, wie es mit dem gelösten Methan zumeist geschieht. Zwar findet während des Aufstiegs der Blasen ein Austausch mit dem Wasser statt und in sehr tiefen Seen

können Blasen komplett aufgelöst werden, bevor sie die Oberfläche erreichen. Doch in untiefen Stauseen – dazu gehört weltweit die Mehrheit – gelangt Methan in Blasen bis in die Atmosphäre; bei einer Tiefe von 10 Metern ist es ein Anteil von rund 50 %, abhängig von der Blasen-grösse.

Viel organisches Material

Der Wohlensee staut seit 1920 rund 15 km der Aare unterhalb Berns. Er ist maximal 18 m tief und seine Fläche beträgt rund 2,7 km². Das Werk ist ein Laufkraftwerk: Dieselbe Wassermenge, die zufließt, wird nach dem Wehr wieder abgegeben. Die kurze Aufenthaltszeit von rund zwei Tagen bewirkt, dass das Wasser im See über das ganze Jahr gut durchmischt und sauerstoffreich ist. Trotzdem können an vielen Stellen und zu jeder Jahreszeit Methanblasen beobachtet werden. Hauptgrund dafür ist die grosse Menge an organischem Material, das die Aare mitbringt.

So viel wie 6780 Kühe

Eine einjährige Studie hat gezeigt, dass der Stausee trotz seiner kleinen Fläche eine grosse Methanquelle ist. Die Konzentration an gelöstem Methan steigt bis zur Staumauer um eine ganze Grössenordnung an. Im See bildet sich also viel Methan. Mit eigens konstruierten Auffangvorrichtungen – im Prinzip umgekehrte Trichter – haben wir an verschiedenen Stellen die aufsteigenden Gasblasen aufgefangen. So konnten wir die mittlere Methanemission des Wohlensees via Blasen auf täglich 792 mg/m² bestimmen. Das ist eine ganze Grössenordnung mehr als bei anderen Stauseen in gemässigten Breiten (durchschnittlich 20 mg

pro m² und Tag) und sogar höher als aus Stauseen in den Tropen (durchschnittlich 300 mg pro m² und Tag). Hochgerechnet auf den ganzen See ergibt sich eine jährliche Methanemission von rund 780 Tonnen. Zum Vergleich: Eine Kuh produziert rund 115 kg Methan pro Jahr, alle Schweizer Kühe zusammen etwa 80 000 Tonnen.

Den Blasen mit Mikrofonaufstellungen nachstellen

Der Methanaustrag aus dem See über das gelöste Methan im abfließenden Wasser und über die Diffusion mit der Atmosphäre ist eine oder zwei Grössenordnungen kleiner als das Ausgasen über Blasen. Wir wollen daher den Methanaustrag über Blasen noch genauer erfassen und setzen dazu eine hydroakustische Methode ein. Zudem messen wir die Methankonzentrationen in der Luft über dem See. ○○○



Bergung der Methanfallen, die wie umgestülpte Trichter das aufsteigende Gas im See auffangen.

Dieses Projekt ist Teil von «Maiolica» im Rahmen des Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit CCES: <http://www.cces.ethz.ch/projects/clench/MAIOLICA>

Ostrovsky I., McGinnis D.F., Lapidus L., Eckert W. (2008): Quantifying gas ebullition with echosounder: the role of methane transport by bubbles in a medium-sized lake. *Limnol. Oceanogr.* 6, 115–118.

Kivu-See: Zeitbombe oder Energiequelle?

Seit Jahren beobachtet die Eawag den afrikanischen Kivu-See genau. Denn in dessen Tiefe lauert Gefahr in Form von Milliarden Kubikmetern an gelösten Gasen. Nun könnte eine kontrollierte Nutzung von Methan zwei Fliegen auf einen Schlag erledigen: die Stromversorgung in der Region sichern und das Risiko eines tödlichen Gasausbruchs mindern. Martin Schmid, Natacha Pasche, Lukas Jarc, Alfred Wüest

Der Kivu-See an der Grenze zwischen Ruanda und der Demokratischen Republik Kongo ist in vielerlei Hinsicht einer der spannendsten Seen der Welt. Die grösste Aufmerksamkeit gilt den enormen Gasmengen, welche in seinem Tiefenwasser gespeichert sind: etwa 300 km³ Kohlendioxid und 60 km³ Methan. Verteilt auf die Oberfläche des Sees würden diese Gase eine Schicht von mehr als 100 Metern bilden.

Gaskonzentration steigt an

Die gelösten Gase sind eine Gefahr, weil sie aus dem See ausbrechen und eine Katastrophe verursachen könnten. 1986 hat ein Gasausbruch des Nyos-Sees in Kamerun 1800 Menschenleben gefordert. Die Wahrscheinlichkeit für ein solches Ereignis am Kivu-See ist zwar heute sehr gering, dürfte aber zunehmen, denn wir haben steigende Gaskonzentrationen gemessen. Das Methan ist aber auch ein wichtiger Rohstoff. Insbesondere Ruanda hat kaum andere Energieresourcen. Die Regierung hat deshalb erste Konzessionen für Pilotanlagen vergeben, welche gegen Ende 2008



Sedimentfallen fangen absinkende Algen auf – einer der Faktoren im Nährstoffkreislauf des Sees.

den Betrieb aufnehmen sollen. Langfristig ist eine Stromproduktion in der Grössenordnung von 100 bis 300 MW geplant – eine enorme Steigerung gegenüber der heute im ganzen Land installierten Leistung von rund 30 MW.

Schichtung im Auge behalten

Die Ausbeutung des Methans aus dem See könnte aber auch unerwünschte Folgen haben: wenn die stabile Schichtung gestört oder der Anstieg des Nährstoffeintrags aus dem Tiefen- ins Oberflächenwasser zu einer starken Eutrophierung führen würde. Die Eawag hat nun ein numerisches Simulationsmodell erstellt, mit welchem diese Auswirkungen für verschiedene Szenarien der Methanausbeutung abgeschätzt werden können. Die Ergebnisse dieser Simulationsrechnungen dienen den Regierungen von Ruanda und Kongo zum Festlegen der Richtlinien, die bei der Methanextraktion von den Konzessionären eingehalten werden sollen. Daneben beteiligt sich die Eawag auch an der Ausarbeitung eines Konzeptes für die begleitende Überwachung, ob die Auswirkungen der Methanausbeutung auf den See im Rahmen der Vorhersagen liegen. Die Methanproduktion im Kivu-See hängt direkt von den seeinternen Nährstoffkreisläufen ab. In Zusammenarbeit mit dem Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu (Kongo) und der staatlichen Universität von Ruanda untersucht und quantifiziert die Eawag die externen Nährstoffeinträge und die seeinternen Nährstoffflüsse.

Abenteuerliche Forschung

Erste Auswertungen von Sedimentkernen zeigen eine massive Veränderung des sedimentierenden Materials in den letzten rund 40 Jahren. Das könnte einerseits auf das starke Be-



Um die Nährstoffkreisläufe im See bilanzieren zu können, müssen auch die Zuflüsse untersucht werden.

völkerungswachstum in der Region zurückzuführen sein, andererseits vermuten wir aber auch, dass mit der Einführung einer Sardine aus dem Tanganyikasee in den 1950er-Jahren die biologischen Nahrungsketten im See stark verändert wurden.

Die Arbeit vor Ort ist manchmal von unerwarteten Schwierigkeiten begleitet. Zum Beispiel, wenn einen die Zöllner nach ein paar Tagen in Bukavu nicht nach Ruanda zurück einreisen lassen wollen, weil die Regeln wieder einmal geändert wurden und ein bestimmtes Papier fehlt oder wenn man in einer Piroge mitten auf dem See von einem Sturm überrascht wird. Aber dies verblasst neben der schönen Landschaft, den vielfältigen Erlebnissen und den spannenden wissenschaftlichen Resultaten.



Schmid M. et al. (2005): Weak mixing in Lake Kivu: new insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *Geochemistry, Geophysics, and Geosystems* 6/7, Q07009, doi:10.1029/2004GC000892.

Schmid M. et al. (2004): How hazardous is the gas accumulation in Lake Kivu? Arguments for a risk assessment in light of the Nyiragongo Volcano eruption of 2002. *Acta volcanologica* 14/15 (2002–2003), 115–121.

Wasser

Siedlungswasserwirtschaft

Mit dem Betätigen der WC-Spülung ist in den Ländern des Nordens für die meisten Menschen das Problem gelöst, ihr Geschäft ist entsorgt. In vielen südlichen Ländern ist das ganz anders. Gesundheit und Umwelt werden durch unsachgemässen Umgang mit Abwasser und Fäkalien akut bedroht. Im Internationalen Jahr der sanitären Grundversorgung (IYS), das die UNO für 2008 ausgerufen hat, stellen wir daher in diesem Handlungsfeld Projekte in den Vordergrund, welche mithelfen, diese Misere nachhaltig anzupacken. Die hier porträtierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben mit vielen anderen zusammen daran geforscht.

«Wo Wasser ist, ist es mir wohl», sagt **Monika Schaffner** (32). Als Hydrologiestudentin an der Uni Bern waren es die Aare und die Wasserversorgungen kleiner Dörfer in Nepal, mit denen sich die Geografin in ihrer Diplomarbeit beschäftigt hat. Zufall war das mit Nepal nicht, denn Schaffner hat einen Teil ihrer Kindheit dort verbracht. Ihre Eltern waren in der Entwicklungszusammenarbeit engagiert. Es lag nahe, auch für die Doktorarbeit nach einem Wasserthema zu suchen. Dass sie dabei, wie schon im Studium, mit der Eawag zu tun hatte, ist für Schaffner logisch: «Wer sich in der Schweiz mit Wasserforschung beschäftigt, landet bei der Eawag», lacht sie. Dank Unterstützung durch das Nord-Süd-Programm des Nationalfonds (NCCR) hat sie mitgearbeitet an der Untersuchung der Nährstoffflüsse am Fluss Tha Chin in Thailand – nicht einfach punktuell, sondern mit Hilfe eines Modells, welches das ganze Einzugsgebiet berücksichtigt (Seite 46). «Solche



ganzheitlichen Ansätze liegen mir», sagt sie, «ich finde es gut, dass die Eawag zusätzlich zur Grundlagenforschung immer wieder lösungsorientierte Projekte anpackt.» Eine Doktorarbeit also mit nachweislichem Nutzen für Thailand? Schaffner warnt vor zu hohen Erwartungen. Dank dieser Arbeit wisse man nun, dass in erster Linie die Fisch- und nicht die Schweinezuchten für die (zu) grossen Nährstoffeinträge im Einzugsgebiet des Tha Chin verantwortlich sind. Und in einer Diplomarbeit wurden erste Massnahmen aufgezeigt, wie das Problem angegangen werden könnte. Wie rasch etwas umgesetzt wird, sei aber völlig offen. Darum nutzt die Forscherin nun die nächsten Monate an der Eawag für das Verfassen von Publikationen und reist auch nochmals nach Thailand, um ihre Resultate den Behörden zu erläutern.

Nach dem Masterabschluss als Bauingenieurin in Vancouver kam die Kanadierin **Elizabeth Tilley** (28) für ein sechsmonatiges Praktikum an die Eawag. Weil sie schon im Studium und in der Diplomarbeit an der Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser gearbeitet hatte, lag es nahe, ihr Engagement in die Forschergruppe einzu-

bringen, die sich im Querprojekt Novaquatis von 2000 bis 2006 mit Urinseparierung befasst hat. Nomix-Toiletten und andere Technik habe sie nur aus Publikationen gekannt. «An der Eawag und speziell im Neubau Forum Chriesbach war dann plötzlich

alles Realität. Es war eine Riesenchance für mich, mit diesen Vorreitern der Urinseparierung arbeiten zu dürfen», sagt Tilley heute, wo auch für sie die Einrichtungen an der Eawag zum Alltag gehören. Unterdessen ist «Novaquatis» abgeschlossen und sie arbeitet in einem anderen Projekt: In der Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec) befasst sie sich mit Pilotversuchen und der Weiterentwicklung des «Household-Centred Environmental Sanitation Approach» (HCES). Dieses Planungsinstrument sucht gemeinsam mit den Betroffenen nachhaltige Lösungen für die Wasserversorgung und Fäkalienentsorgung auf Haushalt- und Quartierebene, namentlich in den rasch expandierenden Städten und Vorstädten südlicher Länder (Seite 39). Die Arbeit in Entwicklungsländern ist für Tilley nicht neu. Für die staatliche Entwicklungszusammenarbeit in Kanada hatte sie schon in Mexiko ein Projekt zur Verbesserung der sanitären Grundversorgung geleitet. Das international zusammengesetzte Team an der Eawag, jeder mit einem eigenen Hintergrund, sei eine grosse Bereicherung für sie als Ingenieurin, sagt Tilley. «Obwohl alle gut Englisch sprechen, vermisse ich zwar manchmal den kanadischen Akzent von zu Hause, aber ich habe es nie bereut, an die Eawag gekommen zu sein.»



Sein Studium hat sich **Adriano Joss** (42) zum rechten Teil mit Wildwasserfahren verdient, als Kajaktrainer im Akademischen Sportverband Zürich. Der Mikrobiologe fühlt sich also wohl auf und gelegentlich auch unter dem Wasser. Heute bleibt dem Vater zweier Mädchen zwar kaum mehr Zeit, um sich in tiefen Schluchten auf das Spiel mit Wellen und Wirbeln einzulassen, doch immerhin rudert der Tessiner beim Reden gerne mit den Händen mit. Zur Biologie ist Adriano Joss gekommen, weil ihn die Insekten und ihre teils trickreichen Strategien für Fortbewegung und Abwehr fasziniert haben. Aber auch, weil sich Insekten mit ihren kurzen Lebenszyklen evolutionär schneller an neue (Umwelt-)Verhältnisse anpassen können als eine

Schildkröte. Dieses problemorientierte Verhalten liegt ihm. «Mich motiviert es, da zu forschen, wo ich sehe, wie Erkenntnis in die Praxis fliesst», sagt er. Über eine Doktorarbeit zur Vergärung von biologischen Abfällen ist er 1999 an die Eawag gekommen und seither den biotechnologischen Prozessen treu geblieben – statt mit festen Abfällen beschäftigt er sich aber vorwiegend mit Abwasser. Zusammen mit dem Team von Hansruedi Siegrist erforscht er unter anderem, wie sich gebundener Stickstoff ohne Zugabe von Kohlenstoff zu Luftstickstoff umwandeln lässt (Seite 48). Der Prozess, der über die so genannten Anammox-Bakterien führt, spielt in der Natur eine wichtige Rolle im globalen Stickstoffkreislauf. Doch die Anwendung in einem Reaktor ist bisher gescheitert. «Nun haben wir zusammen mit den Betreibern von Kläranlagen und einem Hersteller spezieller Messsonden eine robuste Lösung gefunden», ist Joss überzeugt. Sie soll Kläranlagen effizienter machen – die ersten Versuche im grossen Massstab bestärken seine Zuversicht. Und es gibt noch zahlreiche Orte, wo zu viel Stickstoff die Umwelt belastet, zum Beispiel Tierzuchten, die ihre Gülle nicht direkt verwerten können. «Ob sich das Anammox-Verfahren hier einsetzen liesse?», fragt Joss.





Die Betroffenen zu Beteiligten machen

Wer mitbestimmt, auf welchem Weg ein Quartier oder eine Gemeinde ihre Siedlungshygiene verbessern will, trägt zum langfristigen Erfolg von Massnahmen bei. Die Eawag hat dazu einen Planungsansatz entwickelt, welcher die Haushalte und die betroffenen Menschen ins Zentrum stellt. An sechs Orten sind erfolgreich Pilotprojekte angelaufen, welche diesen Ansatz testen. Christoph Lüthi, Elizabeth Tilley

2008 ist von der Uno zum Internationalen Jahr der sanitären Grundversorgung (International Year of Sanitation, IYS) erklärt worden. Denn sauberes Trinkwasser und eine hygienische Entsorgung von Abwasser und Fäkalien sind die Grundlagen für Gesundheit, Menschenwürde und Entwicklung. Ohne Verbesserung der sanitären Grundversorgung kann keines der Millenniums-Entwicklungsziele erreicht werden. Mangelhafte hygienische Verhältnisse haben unmittelbar Einfluss auf Kindersterblichkeit, Armut oder etwa die Regelmässigkeit des Schulbesuchs.

Rasant wachsende Städte

Die Mehrheit der Weltbevölkerung lebt mittlerweile in Städten. Vor allem die Städte Afrikas und Asiens wachsen in atemberaubendem Tempo. Die meisten der neu Zugezogenen leben in ungeplanten Siedlungen – Favelas, Bidonvilles oder Slums. Eine sanitäre Versorgung ohne Kanalisation ist hier die Regel, sofern sie überhaupt existiert. Doch obwohl das «Plumpsklo» für die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung in Entwicklungsländern die Realität ist, befassen sich Politiker und Beamte, ohne Beteiligung der Betroffenen, fast ausschliesslich

mit Kanalisationsnetzen und zentralen Systemen. Diese Haltung muss aus folgenden Gründen unbedingt in Frage gestellt werden:

- ▶ Die Vergangenheit hat bewiesen, dass importierte Lösungen aus Industriestaaten den Menschen in diesen Vierteln nicht helfen können und auch nicht nachhaltig sind, zum Beispiel weil zu wenig Wasser für eine Schwemmkanalisation vorhanden ist.
- ▶ Ohne Einbezug der Betroffenen entsteht keine echte Beteiligung (z. B. durch Mitbesitz oder Betrieb von Anlagen); die Kostendeckung ist tief.
- ▶ Zwischen den verschiedenen Bereichen der Umwelthygiene klaffen grosse Gräben: Fäkalien, Abwasser, feste Abfälle und Meteorwasser werden mit getrennten Systemen und oft von verschiedenen Personen «betreut». Nur die Nutzung von Synergien führt jedoch zu nachhaltigen Lösungen, die auch wirtschaftlich sind.
- ▶ Der Druck auf die Umwelt und die Wasserressourcen ist derart hoch, dass ein Recycling von Abwasser und von Nährstoffen immer zwingender wird.
- ▶ Selbst in Industrieländern ist «business as usual», also eine blosser Fortsetzung des Gewohnten, oft kein nach-

Von der täglichen Misere über eine gemeinsame Planung zu einer besseren Siedlungshygiene und mehr Lebensqualität.

Oben: «Toilette» in Dodoma, Tansania. Unten: HCES-Planungsshop in Curitiba, Costa Rica. (Eawag)



Maji na Ufanisi (Nairobi)

Gemeinschaftliche Toilettenanlage mit Duschen und Wasserverkauf (Sanitärblock) im Quartier Kiambiu in Nairobi (Kenia); für einen ähnlichen Block hat sich nun auch das Quartier Waruku entschieden. Er ist bereits im Bau.

haltiger Weg: Der immense Verbrauch von sauberem Trinkwasser lediglich zum Transport von Fäkalien und Urin sowie die Preisgabe wertvoller Nährstoffe aus Abwasser und Abfall sind eine Verschwendung.

Mehrere Faktoren haben bisher Fortschritte in der sanitären Versorgung verhindert:

- ▶ Die Verantwortung für Hygiene ist sowohl auf nationaler als auch auf lokaler Ebene auf verschiedenste Stellen verteilt. Es gibt afrikanische Länder, in denen bis zu vier Ministerien für Wasser und Umwelthygiene zuständig sind.
- ▶ Hygiene und sanitäre Grundversorgung haben keine Priorität in den Budgets der öffentlichen Hand.
- ▶ Auf der lokalen Ebene fehlen Fachkompetenz und Kapazitäten.

Alternativen entwickeln

Als Antwort auf diese Probleme hat die Arbeitsgruppe «Umwelthygiene» des Wasser- und Hygienerrats der UNO (Water Supply and Sanitation Collaborative Council,

WSSCC) unter Leitung der Eawag den benutzer- und haushaltszentrierten Siedlungshygiene-Ansatz entwickelt, bei dem die Betroffenen und das Quartier im Zentrum stehen. Mit diesem «Household-Centred Environmental Sanitation»-(HCES)-Ansatz werden Entscheidungen, welche sanitären Massnahmen umgesetzt werden sollen, auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten der Benutzer und insbesondere der Benutzerinnen abgestützt. Denn die Frauen treffen im Haushalt oft die wichtigsten Entscheidungen, was Körper- und Umwelthygiene betrifft. Zudem setzt das Konzept auf Nachhaltigkeit: Umwelthygienische Probleme sollen möglichst nah an deren Quelle behoben oder vermieden, Ressourcen geschont und die Abfallmengen verringert werden.

Der HCES-Planungsansatz im Test

2007 hat die Eawag begonnen, den HCES-Ansatz an sechs Orten in Pilotprojekten zu testen: in Costa Rica, Burkina Faso, Kenya, Tansania, Laos und Nepal. Überall wurde mit lokalen Partnern zusammengearbeitet wie mit der lateinamerikanischen Vereinigung für Sozialwissenschaften, dem Forschungsinstitut «Crepa» in Westafrika, dem Stadtforschungsinstitut in Laos oder mit der Organisation für Wasser und Entwicklung «Maji na Ufanisi» in Kenya. Denn anders als die Kommunalverwaltungen, wo Fachkompetenz, Kapazitäten und Material fehlen, sind Forschungsinstitute oder Nichtregierungsorganisationen oft flexibler, in der Bevölkerung gut akzeptiert und verfügen über die besser ausgebildeten Mitarbeitenden. Die bisher durchgeführten HCES-Startworkshops waren erfolgreich. In allen Arbeitsgruppen wurden nach intensiver Diskussion Resultate erzielt. Folgende Faktoren haben dazu beigetragen:

- ▶ gute Mischung von Beteiligten u.a. mit lokalen Vereinen, Behördenvertretern und Gemeindepfarrern,
- ▶ ausgewogene Geschlechtervertretung,
- ▶ geeigneter Raum,
- ▶ sorgfältige Vorbereitung,
- ▶ Verzicht auf Behördendeutsch und Fachchinesisch in sämtlichen Unterlagen und Präsentationen.

Ein Sanitärblock wie auf einem Campingplatz

Im dicht besiedelten Armenviertel Waruku in Nairobi teilen sich heute im Schnitt 60 Menschen eine unhygienische «Toilette». Da ist guter Rat teuer. «Wir dachten, dass nun jede Familie möglichst rasch eine eigene Toilette will», sagt Eawag-Projektleiter Christoph Lüthi. Doch die wichtigste Forderung des HCES-Ansatzes, nicht vorab eine einzige Lösung als Optimum zu definieren, führte zu einer überraschenden Wende. «Die Menschen sahen ein, dass ihnen nicht nur das Geld, sondern vor allem auch der Platz und das Wasser fehlen würden für eine Unzahl Einzeltoiletten», sagt Lüthi. Also machte sich eine Delegation des Quartiers auf und besichtigte in einem anderen Stadtteil eine Gemeinschaftsanlage. Das hat überzeugt. Nun ist ein zentraler Sanitärblock im Bau, wo nicht nur Toiletten, sondern auch Duschen sind und wo Trinkwasser günstig gekauft werden kann. Der Block schafft Arbeitsplätze und die sehr günstigen Tarife für die Benutzer sichern seinen Unterhalt und Betrieb. Rund 1000 Anwohnerinnen und Anwohner erhalten eine zwar immer noch einfache, aber hygienische und nachhaltige sanitäre Grundversorgung – mehr Lebensqualität.

Anlage im Baukastensystem zusammensetzen

Wer für Verbesserungsmaßnahmen verantwortlich ist, muss gut informiert sein. Nur wenn Mitarbeiter der Gemeinde, Planer und weitere Entscheidungsträger die Umsetzung haushaltszentrierter Lösungen schon geübt haben und die nötige fachliche sowie organisatorische

Unterstützung gesichert sind, können sie ihre neuen Rollen gut ausfüllen. Zurzeit entwickeln wir daher ein «Handbuch der Sanitärsysteme und -techniken». Damit soll ein zentraler Schritt im HCES-Prozess unterstützt werden: das Erkennen und Abwägen verschiedener Optionen einer sanitären Versorgung.

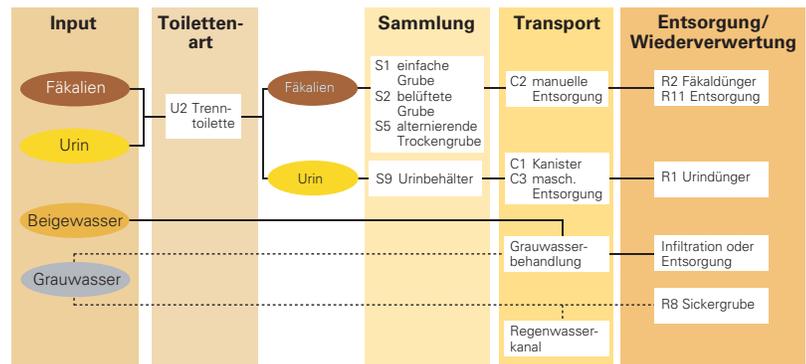
Das Handbuch ist in fünf Kapitel gegliedert: Art der Toiletten, Sammlung und Lagerung, Transport, Aufbereitung und schliesslich Wiederverwendung oder Deponierung. Statt nur unter geschnürten Paketen können die Benutzer in jedem Bereich eine oder mehrere Optionen auswählen und so ein System zusammenstellen, das den örtlichen Verhältnissen optimal angepasst ist und einen nachhaltigen Umgang mit Abfällen/Abwasser sichert. Die Grafik zeigt dies am Beispiel eines Systems, wie es in Dodoma (Tansania) diskutiert wurde. Die Liste beschreibt Techniken von der einfachen Trockentoilette bis zum komplexen Biogasreaktor. Einziges Kriterium für die Aufnahme ins Kompendium ist, dass die Massnahmen Gesundheit und Nachhaltigkeit fördern müssen. So wurden zum Beispiel Toiletteneimer oder über Gewässern erstellte Aborte nicht berücksichtigt, weil sie das Risiko einer Krankheitsverbreitung erhöhen.

Das Quartier entscheidet

Es ist keine einfache Aufgabe, tief verwurzelte Vorstellungen bei Ingenieuren und Politikern zu verändern. Daher wird mit dem Handbuch zuerst in Zielgruppen gearbeitet, wo jedermann Fragen stellen kann, ohne von den anderen schief angesehen zu werden. Wenn die Gruppen danach zusammenkommen, um über mögliche Lösungen zu diskutieren, kennen bereits alle Beteiligten dieselben Konzepte und die zugehörigen Begriffe. Nach den Startworkshops konzipieren die Fachleute verschiedene Systeme und stellen diese dem Quartier vor. In dieser Phase müssen gut ausgebildete Leute beteiligt sein, damit nicht Zeit und Geld mit technisch unpassenden Lösungen vergeudet werden. Letztlich sind es dann aber die Betroffenen, welche das System und seine Komponenten auswählen. Kann oder will sich die Gemeinde nicht von Anfang an auf ein System festlegen, zum Beispiel weil Teile der vorgestellten Lösung einer Mehrheit doch noch zu fremd scheinen, öffnen Pilotprojekte einen Weg.

Tansania anders als Costa Rica

In Dodoma, der Hauptstadt Tansanias, fand der HCES-Startworkshop im Oktober 2007 statt. 70 Teilnehmende – vom Primarlehrer über den Pfarrer bis zum Arbeitslosen – bildeten Arbeitsgruppen zu Themen wie Soziales, Wirtschaft, Hygiene und sanitäre Infrastruktur. Weiterverfolgt wird nun unter anderem eine Verbesserung der Siedlungshygiene mit Trenn-toiletten über jeweils zwei alternierend betriebenen Trockengruben. Auch das «Arborloo» kommt in dieser trockenen Gegend in Betracht – das ist eine mobile Latrine, die über eine neue Grube gezügelt wird, sobald die erste Grube voll ist. In dieser alten Grube wird dann ein Baum gepflanzt. In San Martin (Costa Rica) hingegen, wo mehr Wasser zur Verfügung steht,



Aus 6 Toilettenarten (U), 11 Varianten für Sammlung und Lagerung (S), 6 Möglichkeiten für Transport (C) und 12 für Entsorgung/Wiederverwertung wurde dieses System im Quartier Chang'ombe in Dodoma zusammengestellt. Das Handbuch beschreibt jedes Modul (Rechtecke) und dessen Eignung, listet Vor- und Nachteile auf sowie Unterhaltsaufwand und Kosten für Bau und Betrieb. Besonderes Augenmerk schenkt der Leitfaden der Wirkung auf gesundheitliche Aspekte und Fragen der Akzeptanz. Im vorliegenden Fall musste darauf geachtet werden, dass die Grauwasserbehandlung so ausgelegt wurde, dass sie auch fäkalienbelastetes Wasser (Beigewasser) verarbeiten kann. Dieses stammt vom Reinigen nach dem Geschäft, weil viele Muslime kein Toilettenpapier benutzen. Der Prozess «Aufbereitung» entfällt hier; andere Systeme schalten zwischen Transport und Entsorgung/Verwertung zum Beispiel ein Vererdungsbeet (siehe S. 12).

sind kleinere Kanalisationssysteme umsetzbar. Solche Netze verbinden bis zu 200 Haushalte mit untief oder sogar oberflächlich verlegten Röhren. Statt teure, begehbare Schächte werden an jedem Anschlusspunkt Sperrkammern eingebaut, die den Unterhalt erleichtern, ein Verstopfen der mit wenig Gefälle verlegten Leitungen vermeiden und gleichzeitig bei Belastungsspitzen ein Überlaufen des Systems verhindern. Eine solche Gemeinschaftskanalisation führt dann zu einem Klärteich oder einer einfachen Kläranlage.

Bis Infrastrukturvorhaben mit dem HCES-Ansatz umgesetzt werden können, ist möglicherweise mehr Planungs- und Abstimmungsaufwand nötig als mit einem kapitalintensiven, nach «top-down»-Muster geplanten Projekt. Doch die Investition in diese Form von Projektentwicklung ist gerechtfertigt, weil damit nachhaltige Resultate erzielt werden – etwas, das bisherige Ansätze nie geschafft haben. ○ ○ ○

Die Eawag-Pilotprojekte zur Überprüfung des HCES-Ansatzes und die Entwicklung des Handbuches werden unterstützt von der Direktion für Entwicklungszusammenarbeit (Deza), dem nationalen Kompetenzzentrum Nord-Süd (NCCR North-South) und dem Staatssekretariat für Wirtschaft (Seco). Household-Centred Environmental Sanitation, Provisional Guidelines (in d, f, e), Eawag, 2005. Compendium of Sanitation Systems and Technologies, Eawag, 2008 (erhältlich ab August 2008). International Year of Sanitation 2008: <http://esa.un.org/iys/> Millenniums-Entwicklungsziele: www.un.org/millenniumgoals/ HCES-Ansatz: www.eawag.ch/hces

Fäkalschlamm: Gesundheitsrisiko oder Ressource?

In bepflanzten Trockenbeeten können Fäkalschlämme entwässert und bakteriell zersetzt, mineralisiert, werden. Das ermöglicht ein hygienisches Recycling der Nährstoffe und eine Verwendung des vererdeten Schlamms. Anlagen müssen aber lokal angepasst und mit einheimischen Pflanzen betrieben werden. Ives M. Kengne, Doulaye Koné

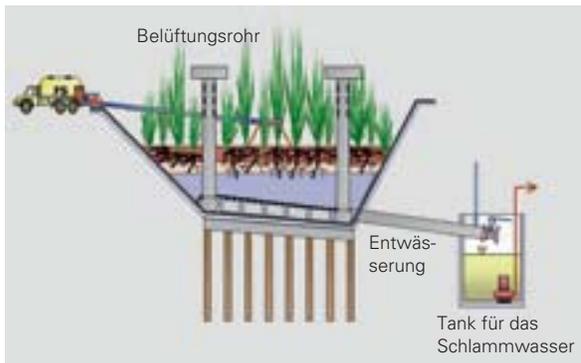
Über 1,1 Mrd. städtische Bewohner in Entwicklungsländern bzw. 40 % der Weltbevölkerung sind nicht an einer Schwemmkanalisation angeschlossen. Urin, Fäkalien und Abwasser werden in Faulkammern geleitet. Meistens wird der von diesen Orten eingesammelte Fäkalschlamm später unbehandelt auf Felder ausgebracht, mit dem Hausmüll deponiert oder einfach in Flüsse und Seen geleitet.

Fest von flüssig trennen

Für einen nachhaltigen Umgang mit Fäkalschlamm ist es entscheidend, effiziente und kostengünstige Methoden zur Trennung der festen und flüssigen Phase zu entwickeln. Nur so ist es möglich, hygienische Prob-



Aufbau eines bepflanzten Vererdungsbeetes mit Sand- und Kiesfilterschichten. Das abfließende Schlammwasser wird in diesem Beispiel in eine Kläranlage geleitet.



Aufbau eines bepflanzten Vererdungsbeetes mit Sand- und Kiesfilterschichten. Das abfließende Schlammwasser wird in diesem Beispiel in eine Kläranlage geleitet.

Klärblumen und Schlammiebe

Wie rasch ein System, das wirklich funktioniert, bei der Bevölkerung auf Akzeptanz stoßen kann, beweisen zwei Beispiele mit bepflanzten Vererdungsbeeten: In Kho phi phi (Thailand) wurden nebst Schilf und Rohrkolben auf einem Klärbeet auch Zierblumen gepflanzt. Das sieht nicht nur schön aus, die Betreiber der Anlage können die Blumen jetzt auch mit Gewinn an Hotels in der Region verkaufen. Und in Dakar (Senegal) haben sich Bauern schon mehrmals nachts am gelagerten Klärschlamm bedient, statt noch länger auf dessen Überprüfung auf Parasiten zu warten. Die positive Wirkung als Humusbildner und Dünger hat sich offensichtlich herumgesprochen.

leme zu vermeiden und Ressourcen oder Energie zurückzugewinnen.

In Zusammenarbeit mit dem Asian Institute of Technology (AIT, Bangkok) hat die Eawag vor allem in Thailand bereits früher gezeigt, dass Vererdungsbeete in Entwicklungsländern ein geeigneter Weg zur Behandlung von Fäkalschlamm darstellen. Die Eigenschaften des Schlamms variieren allerdings von Ort zu Ort sehr stark, und für eine erfolgreich funktionierende Anlage müssen einheimische Pflanzen gefunden werden.

Antilopengras und Papyrus

In Versuchen in Kamerun haben sich Antilopengras (*Echinochloa pyramidalis*) und Papyrus (*Cyperus papyrus*) als geeignet erwiesen. Antilopengras, das weltweit als Futterpflanze verwendet wird, verdreifachte seine Biomasse gegenüber dem Wachstum an natürlichen Standorten auf 100–150 Tonnen Trockenmaterial pro Hektare. Wir prüfen nun, ob die Qualität des Grases einen Verkauf als Tierfutter erlauben würde.

Der auf der Beetoberfläche angesammelte «vererdete» Schlamm eignet sich gut als Humusbildner (organischer Anteil 40 %) und Dünger (N 2 %, P₂O₅ 2,3 %). Allerdings entfällt er auch nach 6 Monaten Betrieb

der Anlage noch zu viele Parasiten, vor allem Eier von Darmwürmern (79 Eier pro Gramm Trockensubstanz). Daher ist eine gemeinsame thermophile Kompostierung des entwässerten Schlamms – z. B. mit organischen Abfällen – oder eine längere Zwischenlagerung nötig, bevor er auf Felder ausgebracht werden kann. Verschiedene Schlamm-Beschickungsraten – von 100 bis 300 kg Trockensubstanz pro m² und Jahr – führten zu keinen signifikanten Unterschieden.

Die in diesem Projekt gesammelten Resultate werden nun in einem größeren Masstab in Dakar (Senegal) überprüft (siehe Artikel nebenan).



Kengne I.M. (2008): Design optimization of dryings beds vegetated with *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch & Chase and *Cyperus papyrus* L. for faecal sludge treatment in Sub-Saharan countries. PhD thesis, University of Yaounde, Cameroon.

Kone D., Cofie O., Zurbrugg C., Gallizzi K., Moser D., Drescher S., Strauss M. (2007): Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates. *Water Research* 41 (19), 4397–4402.

Fachkompetenz an Ort und Stelle

Die Eawag unterstützt in Senegal den Aufbau eines Forschungs- und Ausbildungszentrums für einen nachhaltigen Umgang mit Fäkalschlamm. Im Zentrum steht der Aufbau von Fachkompetenz im Land. Von der Chance, Konzepte und Methoden im Massstab 1:1 zu überprüfen, profitiert aber auch die Eawag-Forschung. Doulaye Koné, Mbaye Mbéguéré

In der Region Dakar (Senegal) fallen jährlich rund 170 000 m³ Fäkalschlamm aus Latrinen und Faulkammern an. Der Schlamm muss fachgerecht behandelt und entsorgt oder einer geeigneten Nutzung zugeführt werden, damit er in der 2-Millionen-Agglomeration nicht zum Gesundheitsrisiko wird.

Unterstützt von der Weltbank und der EU hat Senegals Amt für Siedlungshygiene Onas (Office National de l'Assainissement du Sénégal) in Dakar bereits zwei Aufbereitungsstationen erstellt und plant, die Fäkalschlammbehandlung auch auf andere Städte auszuweiten. Die Eawag unterstützt dieses Programm auf Anfrage der Regierung Senegals seit 2005. Im Juli 2007 konnte in Dakar eine Ausbildungs- und Forschungsstelle eröffnet werden.

Verfahren im Masstab 1:1 umsetzen

In der Pilotanlage können Onas und Eawag die im Labor und kleineren Pilotstudien entwickelten Verfahren zum Fäkalschlamm-Management (FSM) im grösseren Massstab umsetzen – zum Beispiel die Schlammvererdung in bepflanzten Trockenbeeten (siehe Artikel nebenan). Die

Zusammenarbeit eröffnet aber auch die Chance, neue Planungskonzepte, wie sie z. B. ein Eawag-Doktorand in Burkina Faso erarbeitet hat, zu testen oder zusammen mit der öffentlichen Hand Geschäftsmodelle zu entwickeln, welche das Schlamm-Management für Kleinunternehmer attraktiv machen.

Die ersten Erfolge der Zusammenarbeit sowie des Forschungs- und Ausbildungszentrums zeigen sich bereits:

► Die *Fachkompetenz* der Onas-Mitarbeitenden in FSM wurde gestärkt. Erfahrungen mit ähnlichen Anlagen (z. B. in Benin und Mali) zeigen, dass diese oft schon im ersten Betriebsjahr nicht richtig funktionieren. Onas hat seine zwei Anlagen seit 18 Monaten störungsfrei in Betrieb. Das haben auch die Anlieferer gemerkt: Statt wie geplant je zehn, bringen bereits 50 Lastwagen täglich ihre Fracht zu den Anlagen, welche damit an ihre Kapazitätsgrenze stossen. Kurse stärken das Management privater Unternehmer sowie die Zusammenarbeit zwischen diesen und den Behörden.

► FSM wird in Dakar nicht mehr nur als technisches Problem gesehen. Es existiert eine umfassende *Stra-*



Schlammlieferung in eine der beiden Onas-Anlagen.

ategie, was verbessert werden kann. Dazu gehören auch die Wirtschaftlichkeit für private Unternehmer, das Management der öffentlichen Infrastrukturen und die Definition von Verantwortlichkeiten.

► *Einheimische* werden aktiv: Vor der Zusammenarbeit mit der Eawag musste Onas für FSM-Projekte, wie in der Region üblich, auf ausländische Experten bauen. Diese Unterstützung ist teuer und zeitlich begrenzt. Eine Reaktion auf neu auftauchende Probleme ist oft nicht möglich. Nun hat das Land eigene Experten. In Touba, der zweitgrössten Stadt Senegals, hat kürzlich eine einheimische Ingenieurfirma – unter anderem mit ehemaligen Mitarbeitenden aus unserem Projekt – den Zuschlag erhalten, eine Fäkalschlammbehandlungsanlage zu bauen.

► Mit der *Universität Dakar* erarbeiten wir zurzeit ein Ausbildungsprogramm für Doktorierende zu Wasserfragen sowie einen Masterkurs zur Siedlungshygiene in Entwicklungsländern für Umweltingenieure. Er soll im Herbst 2008 starten. ○ ○ ○



Einweihung der Forschungs- und Ausbildungsanlage in Dakar am 17. Juli 2007.

Das Pilotprojekt in Dakar unter Leitung der Eawag wird von der Velux-Stiftung unterstützt.

www.sandec.ch > Main Topics > Excreta and Wastewater Management

Krankheitserreger schnell nachweisen

Eine neue Nachweismethode, die auf der Durchflusszytometrie beruht, gibt schon innert zwei Stunden Auskunft über die Anwesenheit von Krankheitserregern im Trinkwasser und in anderen Proben. Bisher musste zwei Tage lang auf das Aufwachsen von Krankheitserregern zu sichtbaren Kolonien auf Nährmedien gewartet werden. Das Verfahren hat grosses Potenzial. Hans-Anton Keserue, Hans Peter Füchslin, Thomas Egli

Ihre Stärke zeigt die Methode, wenn die Erreger vor dem Nachweis aus einem Stoffgemisch gefischt werden müssen.

Gute Wasserqualität wurde über Jahrhunderte dadurch definiert, dass das Wasser klar, geruchlos und angenehm im Geschmack ist. Mitte des 19. Jahrhunderts begannen Bakterio-

logen, Mikroorganismen auf festen Nährmedien (Agarplatten) zu kultivieren. Sie zeigten, dass Bakterien Krankheiten erregen können und viele davon über das Wasser übertragen werden. Trotz grosser Fort-

schritte der Mikrobiologie besteht der offizielle Nachweis für die meisten krankheitserregenden Bakterien auch heute noch in deren Vermeh-

rung auf Agarplatten und dem Auszählen der gebildeten Kolonien. Doch diese Technik benötigt viel Zeit und nicht alle Zellen lassen sich kultivieren.

Methoden mit Mängeln

Es gibt Ansätze zu schnelleren Nachweismethoden. Am häufigsten angewendet wird die Polymerase Kettenreaktion PCR, bei der Erbsubstanz vervielfacht wird. Die PCR kann jedoch von hemmenden Substanzen beeinträchtigt werden, und es ist nicht möglich, zwischen lebenden und toten Zellen zu unterscheiden. Eingesetzt werden auch Verfahren, bei denen Mikroben und Viren mit Farbstoffen markiert und unter einem Fluoreszenzmikroskop ausgezählt werden. Doch selbst mit zunehmender Automatisierung der Geräte und digitaler Bildanalyse ist dies immer noch sehr zeit- und arbeitsaufwändig.

Alternative Möglichkeiten

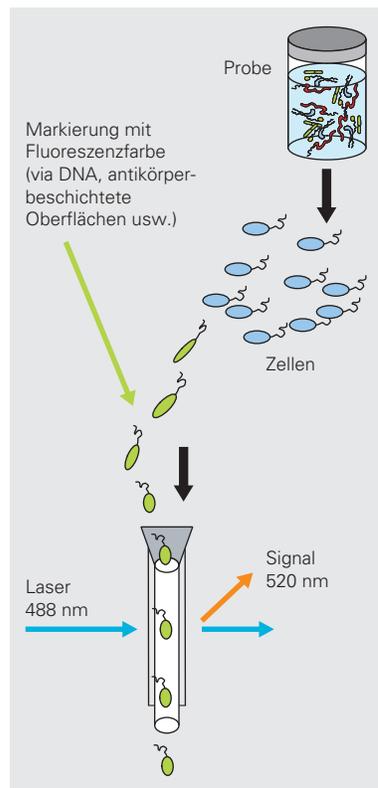
An der Eawag haben wir Methoden der Durchflusszytometrie (Flow Cytometry FCM) entwickelt, die für die Trinkwasserüberwachung eingesetzt werden – zum Beispiel zur Bestimmung der totalen Keimzahl oder des Verkeimungspotenzials im Verteilnetz. Unser neuer Schnelldiagnostik beginnt mit einem Anreicherungsschritt, in dem die Zellen aus dem Wasser ausgefiltert und in Pufferlösung zurückgespült werden. Dann werden sie mit Hilfe mikroskopisch kleiner, antikörperbeschichteter Magnetkügelchen markiert und von anderen Zellen getrennt (immunomagnetische Separation), so dass sie schliesslich direkt im Durchflusszytometer erfasst und ausgezählt werden können.

Die ersten Ergebnisse zeigen, dass man mit der Methode Krankheits-

erreger wie Legionellen oder das Kolibakterium O157 innerhalb von zwei Stunden nachweisen kann, und zwar bis zu einer Nachweisgrenze von rund 500 Zellen pro Liter. Zum Vergleich: Laut Bundesamt für Gesundheit dürfen sich in einem Liter Trinkwasser maximal 1000 koloniebildende Einheiten von *Legionella pneumophila* befinden.

Epidemien vorbeugen

Auch Dauerformen einzelliger Parasiten wie Amöben oder Kryptosporidien können ausgezählt werden – bis zu einer Nachweisgrenze von rund 40 Zysten pro Liter. Das ist für Trinkwasser noch nicht ausreichend empfindlich, genügt jedoch für komplexer zusammengesetzte Flüssigkeiten wie Abwasser, Milch oder Stuhlproben, in denen die Konzentration der Krankheitserreger ungleich höher ist. Unsere Methode könnte daher nicht nur für die Trinkwasseranalytik interessant sein, sondern auch für Nahrungsmittelproduzenten, in der klinischen Mikrobiologie oder zur raschen Abschätzung des mikrobiologischen Risikos in Krisengebieten – überall, wo die gesuchten, krankheitserregenden Zellen aus einem komplexen Stoffgemisch herausgefischt werden müssen, bevor man sie verlässlich nachweisen kann.



Schneller Nachweis von krankheitserregenden Keimen mit immunomagnetischer Separierung und Durchflusszytometrie.

Hammes F., Berney M., Wang Y., Vital M., Köster O., Egli T. (2008): Flow-cytometric total bacterial cell counts as a descriptive microbiological parameter for drinking water treatment processes. *Water Res.* 42,269–77.
Hammes F. A., Egli, T. (2005): New method for assimilable organic carbon determination using flow-cytometric enumeration and a natural microbial consortium as inoculum. *Environ. Sci. Technol.* 39, 3289–3294.

Hilfe für die Helfer – ein Handbuch für den Katastropheneinsatz

Eine intakte Wasserversorgung sowie die hygienische Entsorgung von Fäkalien, Abwasser und Abfall können nach Katastrophen oder in Krisen über Leben und Tod entscheiden. Mit einem Team von Experten hat die Eawag für die humanitäre Hilfe des Bundes ein Handbuch für Soforteinsätze erarbeitet. Christian Zurbrügg¹

Leider sind Naturkatastrophen und humanitäre Notlagen aufgrund bewaffneter Konflikte keine Seltenheit. Der Tsunami mit verheerenden Auswirkungen rund um den Indischen Ozean, ein Hurrikan in Mittelamerika, Erdbeben in Nord-Pakistan, Konflikte in West-Sudan oder Libanon – überall bei solchen Krisen ist die Gesundheit der Betroffenen durch eine mangelnde Trinkwasserversorgung sowie durch eine schlechte Abwasser- und Abfallentsorgung stark beeinträchtigt. Verschmutztes Trinkwasser und mangelnde Hygiene verursachen Durchfall und Infektionen: Krankheiten, die in der Folge mehr Opfer fordern können als das eigentliche Ereignis selbst.

Hygiene geht oft vergessen

Nach dem Tsunami reagierte die Humanitäre Hilfe des Bundes mit Soforthilfemassnahmen zur Unterbringung und Versorgung der Obdachlosen und Verletzten. Ein Einsatzteam mit Spezialisten aus den Bereichen Medizin, Logistik und Trinkwasser klärte vor Ort Massnahmen ab und leitete die Nothilfe ein. Im Rückblick kann die Hilfe als effizient bezeichnet werden. Über der

Sorge um eine in Stand gestellte Trinkwasserversorgung wurde allerdings der hygienischen Situation, insbesondere der Abwasserentsorgung, stellenweise zu wenig Beachtung geschenkt.

Der innert Tages- oder sogar Stundenfrist abgereiste Experte ist im Einsatz mit hohen Erwartungen konfrontiert. Er muss einerseits die Trinkwasserversorgung und die Abwasser-/Abfallentsorgung für das Einsatzteam sicherstellen. Andererseits müssen innert kürzester Zeit die Situation im Katastrophengebiet erfasst und Entscheide gefällt werden, wo und wie die Schweiz einen Beitrag zur Soforthilfe leisten kann. Um diese Aufgabe zu erleichtern, hat die Eawag jetzt zusammen mit einem Team von Fachleuten im Auftrag des SKH ein Hilfsmittel entwickelt in Form eines Handbuchs mit Checklisten und Entscheidungshilfen. Fragenkataloge helfen bei der Vorbereitung sowie bei der Situationsanalyse; z. B.: Welche anderen Organisationen stehen wie und wo schon im Einsatz? Stehen bei den Sanitäranlagen Waschwasser und Seife für die persönliche Hygiene zur Verfügung? Weiter werden auch Abläufe vorgeschlagen, um systematisch Prioritäten zu setzen. Entscheidungen müssen in enger Zusammenarbeit mit den Betroffenen, den lokalen Behörden und Hilfsorganisationen gefällt werden. Wer soll wo, wann und wie agieren und wer koordiniert die Einsätze?

Kompass und Dokumentation

Das Handbuch hilft, dass kein wichtiger Bereich unberücksichtigt bleibt. Es dient auch als Notizbuch im Feld

und damit als Dokumentation. So ist bei späteren Einsätzen von anderen Experten der Wissenstransfer gewährleistet. ○ ○ ○

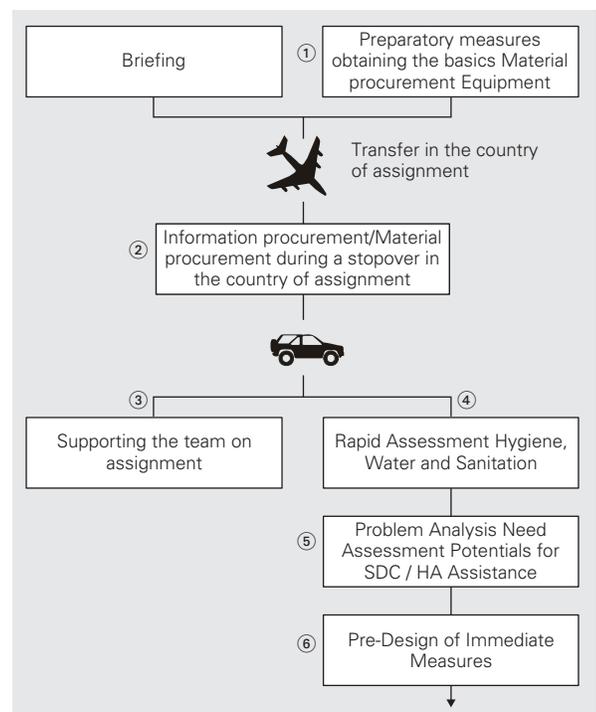


Zerstörter Trinkwasserbrunnen bei Aceh, Indonesien, welcher zur Instandstellung in Betracht gezogen wurde. Hinter der schwarzen Plastikplane befindet sich eine Grubenlatrine, die den Brunnen laufend verschmutzt.

Das Korps für humanitäre Hilfe

Das Schweizerische Korps für humanitäre Hilfe (SKH) ist der operationelle Arm der Humanitären Hilfe des Bundes. Das SKH ist ein Milizkorps und umfasst einen Pool von rund 700 einsatzbereiten Personen. Bauingenieur/innen, Hydrogeolog/innen sowie Chemiker/innen der Fachgruppe Trinkwasser und Siedlungshygiene erstellen oder sanieren Anlagen zur Wasseraufbereitung, -speicherung und -verteilung, kümmern sich um die Entsorgung von Fäkalien und Abwasser und bilden nationales Personal aus. Ihre Anstellung erfolgt einsatz- und projektbezogen.

¹ Mitautoren des Handbuchs sind: Peter Kaufmann, Aquawet; Karl Wehrle, SKAT; Ueli Graf, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern.



Übersicht über den Prozessablauf eines Soforteinsatzes mit den zugehörigen Checklisten 1 bis 6 aus dem Handbuch.

Zu viele Nährstoffe im Tha Chin

Nicht in erster Linie die Schweine-, sondern die Fischzuchten sind für die hohen Nährstoffeinträge im Einzugsgebiet des thailändischen Flusses Tha Chin verantwortlich. Das hat eine Stoffflussanalyse der Eawag zu Tage gefördert. Dank dieser Erkenntnis und weiterer Resultate der Arbeit können nun alle Beteiligten gezielt über Verbesserungsmaßnahmen diskutieren. Monika Schaffner, Ruth Scheidegger, Hans Peter Bader, Irene Widmer

In Entwicklungs- und Schwellenländern ist eine Verbesserung der Wasserqualität zentral für die Menschen und die Ökosysteme. Herkömmliche Wasserqualitätsmodelle untersuchen Belastungen ausgehend vom Eintrag ins Gewässer. Wo und wie diese Einträge entstehen, lässt sich damit aber nicht feststellen.

Analyse führt zu Massnahmen

Die Stoffflussanalyse (SFA) bietet eine wertvolle Ergänzung der Wasserqualitätsmodelle. Sie ermöglicht, die Herkunft und Ausbreitungswege der belastenden Stoffe in einem Flusssystem zu analysieren. So können Massnahmen zur Vermeidung

oder Verminderung der Belastung an der Quelle ermittelt werden. Im Rahmen einer Eawag-Fallstudie im Tha-Chin-Flussgebiet in Thailand wurden Herkunft und Menge der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff erfasst.

Der Tha Chin, ein Nebenarm des Flusses Chao Phraya, durchfließt das intensiv genutzte zentrale Tiefland Thailands. Ein stark reguliertes Kanalsystem mit geringen Fließgeschwindigkeiten und wechselnden Fließrichtungen zeichnet das flache Gebiet aus. Ein flussweites Fischsterben im Jahr 2000 sensibilisierte Bevölkerung und Regierung für die schlechte Wasserqualität. Erhebungen zeigten, dass insbesondere die hohe Nährstoffbelastung (Eutrophierung) und die damit zusammenhängende Sauerstoffarmut von Besorgnis sind.

Fischzuchten als wichtigste Nährstoffquellen

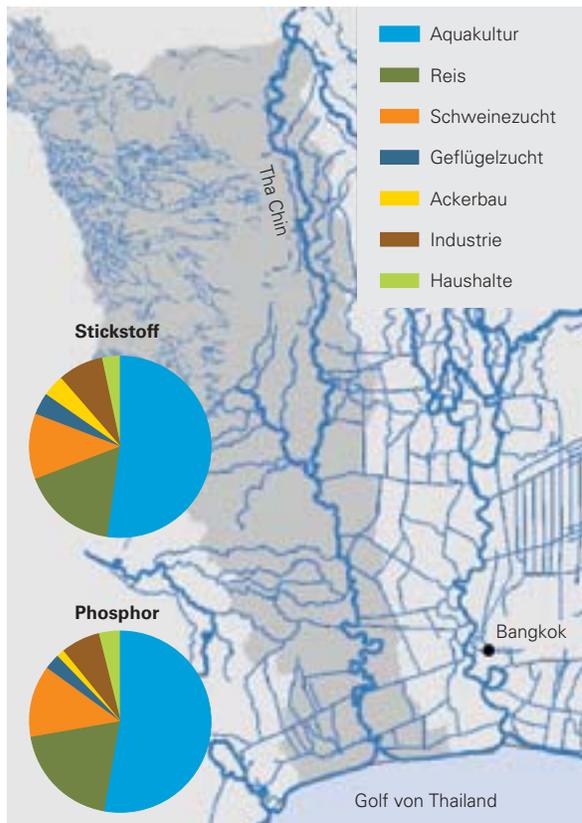
Unsere Studie hatte zum Ziel, die Hauptverursacher der Nährstoffeinträge zu identifizieren und Massnahmen zur Verminderung der Belastung zu diskutieren. Aufgrund von Feldbeobachtungen sowie vorhandener Daten, Expertenbefragungen und Schätzungen wurde ein einfaches Stoffflussmodell entwickelt. Die Resultate zeigen, dass

- ▶ über 50 % aller Nährstoffe aus der Aquakultur kommen,
- ▶ die intensive Reisproduktion im Gebiet mit über 15 % zur Nährstoffbelastung beiträgt,
- ▶ die Schweinezucht vorwiegend im Mittellauf des Flusses zu den Hauptverursachern zählt,
- ▶ die Nährstoffbeiträge aus Industrie und Haushalt sowie aus Geflügelzucht und Ackerbau um Grössenordnungen tiefer liegen.

Diese Untersuchung zeigt nicht nur die Hauptbeiträge auf, sondern auch

deren Ursachen. Beispielsweise ist der Grund beim Reis die weit über den regionalen Empfehlungen liegende Düngung. Bei den Aquakulturen sind es nicht wachstumsangepasste Futtermengen sowie das Auspumpen der Sedimente in die Fließgewässer.

Aufgrund dieser Analyse aus dem Stoffflussmodell kann nun mit allen Beteiligten diskutiert werden, mit welchen Massnahmen die Stoffbelastung – lokal angepasst – am effizientesten vermindert werden könnte. Beispiele sind angepasste Düngung beim Reis, bedarfsgerechtere Fütterung der Fische und nährstoffärmeres Futter oder eine Wiederverwertung der Sedimente aus den Aquakulturen. Die zuletzt aufgeführte Massnahme macht allerdings nur Sinn, wenn die Sedimente nicht zu sehr mit Antibiotika und anderen chemischen Zusätzen aus der Aquakultur belastet sind. ○○○



Hauptverursacher der Stickstoff- und Phosphorbelastung im Tha-Chin-Flussgebiet.

Das Projekt wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsschwerpunkts (NCCR) Nord-Süd durchgeführt, finanziert durch den Schweizer Nationalfonds und die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit.

Wittmer I.: Modeling the Water and Nutrient Flows of Freshwater Aquaculture in Thailand. A Material Flow Analysis, in Department of Environmental Science. 2005, ETH Zürich: Zürich.

Schaffner M., Wittmer I. (2006): Alarm – zu viele Nährstoffe im Tha Chin; Eawag News 62d.

Schaffner M. (2007): Applying a Material Flow Analysis Model to Assess River Water Pollution and Mitigation Potentials – A Case-Study in the Thachin River Basin, Central Thailand. Dissertation Universität Bern. NCCR North-South/Eawag.

Wenn das Trinkwasser modrig riecht

Wenn Trinkwasser seltsam riecht, läuten die Telefone bei den Wasserversorgern. An der Eawag sind Methoden entwickelt worden, wie Geruchsstoffe im Wasser identifiziert und – wenn nötig – eliminiert werden können. Eine weitergehende Oxidation mit Ozon und Wasserstoffperoxid hat sich als erfolgreich herausgestellt. Holger Lutze, Andreas Peter und Urs von Gunten

Geschmacks- und Geruchsprobleme im Trinkwasser sind der häufigste Beschwerdegrund, mit dem Wasserversorger konfrontiert werden. Obwohl die Substanzen, welche diese Probleme verursachen, gesundheitlich unbedenklich sind, reagieren viele Konsumenten verunsichert, wenn ihr Wasser stinkt. Für Beanstandungen sind neben Chlorrückständen (Schutz vor Verkeimung im Leitungsnetz) vor allem Geruchsstoffe aus natürlichen Quellen verantwortlich. Mikroorganismen in Oberflächengewässern (v.a. Algen) oder auf Biofilmen im Leitungsnetz können eine Vielzahl von Geruchsstoffen produzieren.

Weitergehende Oxidation

Da die meisten Geruchsstoffe ihren Ursprung im Oberflächengewässer haben, kann vielen Geruchsproblemen durch eine optimale Trinkwasseraufbereitung begegnet werden. Dazu ist ein Verfahren nötig, das flexibel auf die oft saisonalen Höchst-

konzentrationen reagieren kann. Der Einsatz von Ozon ist hierbei viel versprechend, da gleich zwei reaktive Substanzen (Ozon und Hydroxylradikale) den Abbau der Spurenstoffe unterstützen und der Prozess relativ einfach gesteuert werden kann. So kann die Bildung von Hydroxylradikalen durch Zugabe von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) gezielt gefördert und mit dieser weitergehenden Oxidation die Eliminationsleistung für ozonresistente Verbindungen erhöht werden.

Vorsicht vor unerwünschten Nebenprodukten

Die optimale Elimination von Spurenstoffen ist allerdings nur die eine Seite. Auch das Desinfektionspotenzial von Ozon sollte aufrechterhalten bleiben und es sollten sich möglichst keine unerwünschten Nebenprodukte bilden. Am relevantesten in diesem Zusammenhang ist Bromat, ein potenziell Krebs erregendes Oxi-

tationsprodukt, das bei der Ozonung von bromidhaltigem Rohwasser entsteht. Wir haben untersucht, wie weit Geruchsstoffe durch ozonbasierte Prozesse eliminiert werden können bei gleichzeitiger Minimierung der Bromatbildung. Dabei wurde die konventionelle Ozonung mit der weitergehenden Oxidation verglichen. Die Experimente wurden sowohl im Labor- als auch auf einer Pilotanlage durchgeführt. Diese konnten wir im Rahmen des Querprojekts Wave21 zusammen mit der Wasserversorgung der Stadt Zürich betreiben.

Die weitergehende Oxidation mit O_3/H_2O_2 hat sich als wirkungsvolles Instrument erwiesen, um Geruchs-episoden aus dem Seewasser zu bekämpfen. Einerseits eliminiert der Prozess Geruchsstoffe wesentlich effektiver als die konventionelle Ozonung, andererseits wird gleichzeitig auch die Bildung von Bromat minimiert. Die Forschung im Pilotmassstab hat aufgezeigt, dass bestehende Ozonanlagen gezielt aufgerüstet werden können, falls es nötig wird, Geruchs- und andere Spurenstoffe zu entfernen. ○ ○ ○

Es gibt Stoffe, von denen wir einen einzigen Tropfen in einem Schwimmbad riechen können.



ETH-Rat, A. Poi

Beprobung des Ozonreaktors in der Wave21-Pilotanlage beim Seewasserwerk Lengg der Stadt-zürcher Wasserversorgung.

Den Duft mit Nase und Gerät sezieren

Bevor Geruchs- und Geschmacksstoffe im Wasser bekämpft werden können, müssen sie erst einmal gefunden und identifiziert werden. Dazu wurde an der Eawag eine bisher vor allem aus der Parfumindustrie bekannte Methode weiterentwickelt, die auf eine Kombination von Technik und menschlicher Nase setzt: Während der Analyse einer Wasserprobe im Massenspektrometer werden deren Gerüche gleichzeitig «erschnuppert». Stellt die feine Forschernase eine Unregelmässigkeit fest, wird protokolliert. Die Analyse des Ausschlags des Geräts erlaubt dann eine Identifikation des Stoffs, der für die jeweilige Geruchs- und Geschmackskomponente verantwortlich ist.

Kläranlage bald ein Kraftwerk?

Trotz Biogasproduktion sind konventionelle Kläranlagen heute insgesamt Energiekonsumenten. An der Eawag ist ein Verfahren zum Abbau von Ammoniumstickstoff weiterentwickelt worden, das eine anaerobe Oxidation mit einschliesst. Weil weniger Energie zur Belüftung benötigt wird, kein Kohlenstoff zugegeben werden muss und erst noch mehr Biogas produziert werden kann, könnte dieses Anammox-Verfahren Kläranlagen der Energieautarkie einen Schritt näher bringen. David Salzgeber, Jack Eugster, Karin Rottermann, Adriano Joss, Hansruedi Siegrist

Ammoniumreiches Schlammwasser aus der Schlammvergärung kann in Kläranlagen in einer separaten Behandlung entstickt werden. So wird eine unnötige Belastung verhindert, wenn Schlammwasser in die Vorklä- rung zurückgeleitet wird. Bei konventionellen Verfahren über Nitrifikation und Denitrifikation muss Kohlenstoff, z. B. mit Methanol, zugegeben werden, um Nitrat zu elementarem Stickstoff zu reduzieren. Zudem wird in diesem Prozess für die Belüftung viel Energie benötigt.

Wir haben nun ein Verfahren mit anaerober Ammoniumoxidation weiterentwickelt, welches diese Nachteile umgeht: Beim PNAA-Verfahren (PNAA = Partielle Nitritation Anaerobe Ammoniumoxidation) wird ein Teil des Ammoniums mit Sauerstoff zu Nitrit oxidiert und das restliche Ammonium mit Hilfe des gebildeten Nitrits anaerob zu molekularem Stickstoff oxidiert (Abbildung). So kann auf die Zugabe der C-Quelle verzichtet und die benötigte Belüftungsenergie um bis zu 60 % reduziert werden.

Vom Labor- zum Vollmassstab

Der diskontinuierlich befüllte Forschungs-Reaktor (SBR = Sequencing Batch Reactor) fasst 400 Liter. Das Schlammwasser wurde regelmässig aus der Kläranlage Zürich-Werdhölzli

antransportiert. Obwohl Anammoxbakterien langsam wachsen und wir den Versuch mit einer kleinen Menge angeimpft haben, erreichten wir bereits nach vier Monaten eine sehr gute Abbauleistung (hydraulische Aufenthaltszeit von einem Tag).

Dank dieser guten Resultate im 400-Liter-Reaktor und den zu erwartenden Ersparnissen durch Energie- und Methanoleinsparungen konnten mit den Kläranlagen Zürich-Werdhölzli und St. Gallen Au zwei Betriebe gefunden werden, die bereit waren, den Prozess im Vollmassstab umzusetzen. Beide Anlagen – St. Gallen mit 300 m³ und Zürich mit 1400 m³ – nahmen im Spätsommer-Herbst 2007 ihren Betrieb auf, angeimpft mit Schlamm aus einem 8-m³-Reaktor, der eigens für die Schlammproduktion in der Versuchshalle der Eawag betrieben wurde. Die ersten Resultate aus dem Betrieb im grossen Massstab stimmen positiv. Sie zeigen aber auch, dass eine gute technische Ausrüstung der Anlagen sowie eine permanente Überwachung vor allem während der Startphase Voraussetzung für einen reibungslosen Betrieb sind.

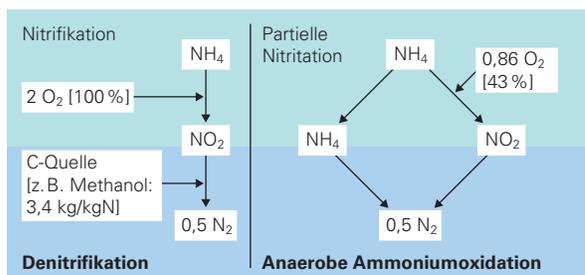
Mehr Schlamm für Klärgasproduktion

Ein weiterer Vorteil des PNAA-Verfahrens ist die Möglichkeit einer besseren Ausnützung der anaeroben Energiegewinnungsprozesse. Wird das abgezogene Faulwasser vor der Rückgabe in die Vorklä- rung entstickt, verringert sich dort die Stickstofffracht. Entsprechend wird weniger Substrat für die Denitrifikation in der biologischen Reinigungsstufe benötigt. Die hydraulische Aufenthaltszeit in der Vorklä- rung kann ausgedehnt werden. So steht mehr Substrat für die Faulung zur Verfügung, die



Der 400-Liter-SBR-Reaktor für das Anammox-Verfahren in der Eawag-Versuchshalle.

Biogasproduktion wird gesteigert. Zusammen mit der Einsparung an Belüftungsenergie kann das PNAA-Verfahren Kläranlagen einen Schritt näher an einen energieautarken Betrieb bringen. Um das Verständnis für den PNAA-Prozess und dessen Steuerung zu verbessern, sind wir gegenwärtig daran, die in den Reaktoren beobachtete Leistung in einem dynamischen Modell abzubilden. ○ ○ ○



Konventionelle Nitrifikation/Denitrifikation (links) und partielle Nitritation mit anaerober Ammoniumoxidation (PNAA).

Salzgeber D., Joss A., Siegrist H. (2007): Autotrophe Schlammwasserentstickung (Nitritation/Anammox) in einem SBR. Gas Wasser Abwasser 3, 205–209.

Siegrist H., Salzgeber D., Eugster J., Joss A. (2007): Anammox brings WWTP closer to energy autarky due to increased biogas production and reduced aeration energy for N-removal. 11th World Congress on Anaerobic Digestion, 2007, Brisbane.

Wett B. (2007): Development and implementation of a robust deammonification process. 4th IWA Leading Edge Conference and Exhibition on Water and Wastewater Technologies, 3–6 June 2007, Singapore.

Strassendreck im Kaffeefilter auffangen

Regnet es nach längerer Trockenzeit auf die Strassen, ist das Abwasser schwarz, unter anderem belastet mit Schwermetallen von Brems- und Reifenabrieb. Filtersäcke in Ablaufschächten können verhindern, dass diese Stoffe in die Gewässer gelangen. Aber nicht alle dafür eingesetzten Vliese eignen sich gleich gut. Markus Boller, Martin Wytenbach

Filtervliese können Strassenabwasser reinigen. Wie frühere Untersuchungen der Eawag zeigen, halten sie erhebliche Anteile der Verschmutzung zurück, weil Schwermetalle (Cadmium, Blei, Zink, Kupfer) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) an Staubemissionen des Verkehrs gebunden sind.

In Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Burgdorf und dem Gewässerschutzamt des Kantons Bern hat die Eawag sowohl Vliese in Form von Filtersäcken als auch automatisch spül- und drehbare Trommelfilter geprüft. Filtersäcke eignen sich eher als dezentrale Massnahme in Strassenablaufschächten für schwächer belastetes Strassenabwasser, während Trommelfilter als zentrale Verfahrenseinheiten für stärker belastetes Strassenabwasser, etwa aus Strassenkanalisationen an Autobahnen, geeignet sind.

Testanlage erstellt

Grosstechnische Anwendungen und betriebliche Aspekte zum Einbau und zur Reinigung von Textilfiltern wurden von den Fachleuten im Kanton Bern geprüft. Die Eawag hat Reinigungswirkung und Kolmation verschiedener Filtervliese untersucht.

Die Ergebnisse liefern Anhaltspunkte, welche Parameter zur Bemessung der Vliese in Bezug auf ihr Rückhaltevermögen, Druckverluste und Laufzeiten massgebend sind. In einer eigens für diese Tests erstellten Pilotanlage wurde Strassenschlamm mit Regenwasser aus der Regenwassernutzungsanlage des Eawag-Neubaus Forum Chriesbach auf definierte Feststoffkonzentrationen verdünnt. Dieses «normierte» Strassenabwasser wurde dann durch verschiedene Textilfilter geschickt, die damit bei unterschiedlichen Filtergeschwindigkeiten und Feststoffbelastungen hinsichtlich Druckverlust, Feststoff- und Schwermetallrückhalt getestet werden konnten.

Die Tests haben gezeigt, dass zwischen den Vliesen grosse Unterschiede bestehen (siehe Grafik). Vlies 3 zum Beispiel weist ungünstige Eigenschaften auf, da seine Rückhalteleistung gering ist und der Druckverlust rasch ansteigt.

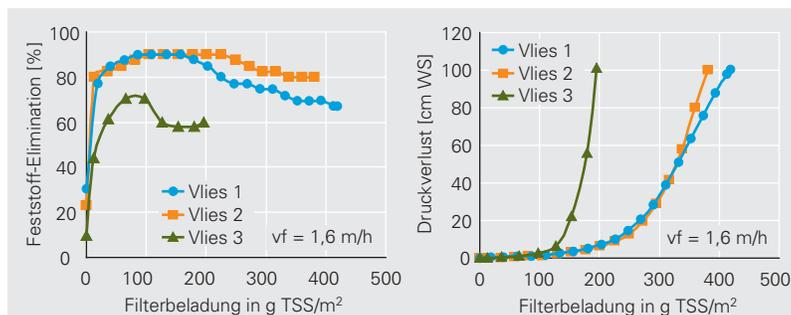
Filtersäcke mit Bodensatz

Das in den Tests ermittelte Verhalten der Filter kann nicht unbesehen auf die Praxis übertragen werden. Es zeigt sich, dass als Filtersäcke in Ablaufschächten eingesetzte Vliese



Wechsel eines mit Strassenschlamm gefüllten Filtersacks in Pully/VD.

gleichzeitig Sedimentationsbehälter sind und mit bis zu 20 000 mgTSS/m² ein Vielfaches an Feststoffaufnahmevermögen aufweisen, als bei den Durchlaufversuchen ermittelt wurde. In solchen Säcken lagert sich am Filterboden Strassenschlamm ab und macht ihn undurchlässig. Die Filtration erfolgt entsprechend dem Regenwasseranfall über grössere oder kleinere Flächen der Seitenwände. Dies ermöglicht wesentlich längere Laufzeiten bis zur Spülung der Filter, was das Anwendungspotenzial der Vliesfilter in der Praxis erheblich erhöht. ○ ○ ○



Verhalten von Filtervliesen in Abhängigkeit der Feststoffbelastung (Trockensubstanz pro Fläche). Feststoffe werden in ganz neuen Vliesen zuerst schlecht, dann aber rasch besser eliminiert. Mit zunehmender Beladung des Filters sinkt die Leistung wieder etwas ab (links). Wachsender Druckverlust (rechts) bedeutet, dass der Filter langsam verstopft und immer weniger anfallendes Abwasser reinigen kann. Filtergeschwindigkeit in beiden Versuchen 1,6 m/h. Feststoffgehalt Abwasser 70 mg TSS/l.

Breite Zusammenarbeit

Unter dem Titel Regenanalyse sind verschiedene Forschungsprojekte zum Thema Schadstoffbelastung in Dach- und Strassenabwasser zusammengefasst. Beteiligt sind neben der Eawag die Bundesämter für Strassen und Umwelt, die ETH Lausanne, der Kanton Bern, die Fachhochschule Burgdorf und der Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute: www.regenanalyse.ch

Zukunft denken: Abwasserwirtschaft strategisch planen

Wer Abwasserinfrastruktur plant, muss mit vielfältigen Unsicherheiten rechnen, die während der langen Lebenszeit der Anlagen auftreten können. Konzepte, wie damit umgegangen werden soll, gibt es kaum. Wird aber heute falsch entschieden, sind Kanalisation und Kläranlagen morgen falsch ausgelegt, teure Anpassungen werden nötig. Deshalb hat die Eawag ein Planungsverfahren entwickelt, um technische und organisatorische Lösungen auf ihre Zukunftsfähigkeit zu prüfen. Eckhard Störmer, Annette Ruef, Damian Dominguez, Max Maurer, Bernhard Truffer

Die Schweizer Abwasserinfrastruktur ist hauptsächlich in den 1960er- und 70er-Jahren errichtet worden. Gemeinden und Zweckverbände stehen zunehmend vor grossen Sanierungs- und Investitionsentscheidungen für Abwasserreinigungsanlagen und Kanäle. Im Allgemeinen konzentriert sich die Planung auf das Beheben der bestehenden Mängel. Wenige sind indes im Klaren über die Folgen der Planungshorizonte zwischen 30 bis 50 Jahren. Die heute getroffenen Entscheidungen prägen die nächsten ein bis zwei Generationen.

Die Zukunft der Abwasserentsorgung in einer Region hängt von vielen Entwicklungsfaktoren ab und ist

damit mit grossen Unsicherheiten behaftet. Eine Forschungsgruppe an der Eawag hat sich deshalb zum Ziel gesetzt, eine Planungsmethodik «Regional Infrastructure Foresight – RIF» zu entwickeln, die bewusster mit den bestehenden Unsicherheiten umgeht. Diese Methodik wurde in drei Fallstudien im Klettgau (SH), im Kiesen- und Aaretal (BE) sowie in der Region Dübendorf/Wangen-Brütisellen/Dietlikon (ZH) getestet und weiterentwickelt.

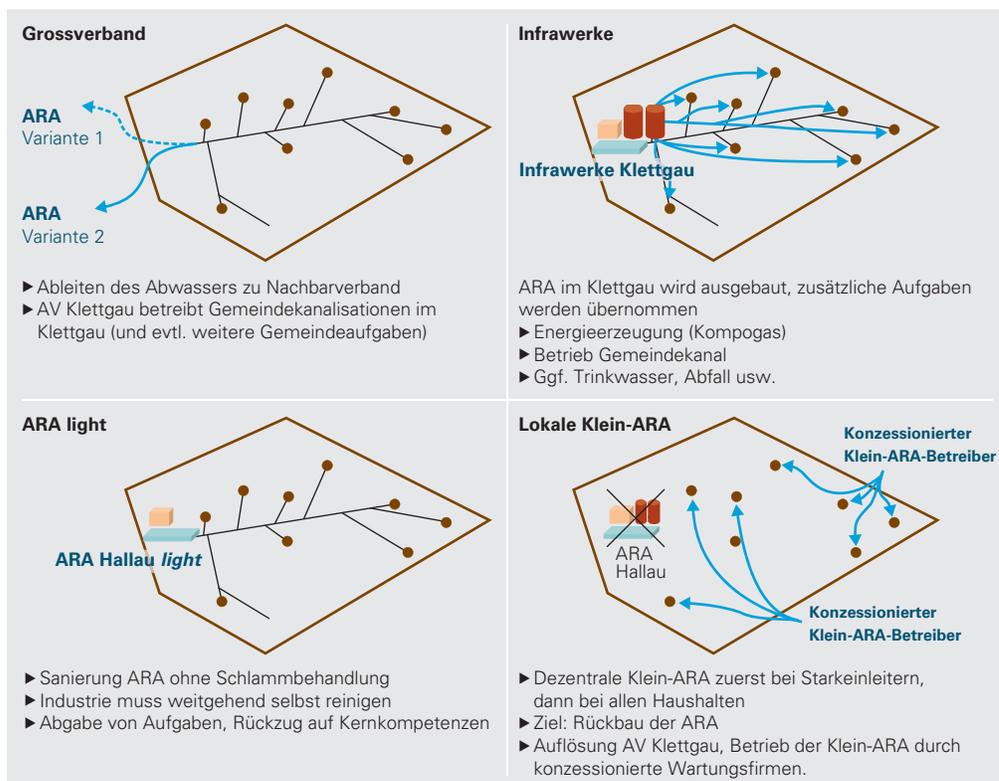
Unsicherheiten integrieren statt ignorieren

Unsicherheiten für die Abwasserwirtschaft liegen in der Wirtschafts-

und Bevölkerungsentwicklung im Einzugsgebiet. Diese bestimmen nicht nur die Abwassermenge und die Mengen an problematischen Stoffen, sondern auch die Zahlungsfähigkeit für die Infrastrukturen. Daneben ist die Entwicklung von Ansprüchen an Umwelt- und Gewässerschutz unbekannt, die von Gesetzen, aber lokal auch von den Forderungen der Bevölkerung und von Betrieben geprägt werden. Ein aktuelles Beispiel ist die Frage, wie mit Mikroverunreinigungen umgegangen werden soll. Auch das Selbstverständnis der Abwasserorganisation als Service public wandelt sich. Es steht unter dem Druck von Liberalisierung und Privatisierung. Und schliesslich sind Folgen des Klimawandels mit Starkregenereignissen und Trockenheiten in ihren regionalen Auswirkungen schwer abzuschätzen. Zusammengefasst zeigt sich, dass eine blosses Weiterschreiben der bisherigen Entwicklungen den künftigen Herausforderungen kaum gerecht werden wird.

Hohe Anforderungen an die Planung

Die Aufgabenvielfalt der Abwasserwirtschaft führt dazu, dass eine sorgfältige Planung sehr komplex ist. Neben der Gewässerschutzaufgabe müssen sozial- und wirtschaftsverträgliche Tarife, verursachergerechte Kosten, politische Steuerbarkeit und vieles Weitere sichergestellt sein. Die Bedeutung dieser Aufgaben wird von jeder Interessengruppe je nach den künftigen Rahmenbedingungen unterschiedlich bewertet. Eine zukunftsorientierte Bewertung von Handlungsoptionen muss all diese Aspekte berücksichtigen.



Handlungsoptionen im Fallbeispiel Klettgau. Weiter verfolgt werden die Varianten Grossverband und Infrawerke.

Beispiel Klettgau

In der Schaffhauser Weinbauregion Klettgau, an der Grenze zu Deutschland gelegen, ist die Abwasserreinigungsanlage nach über 30 Jahren am Ende ihrer Lebenszeit angekommen. Überlegungen zu Neubau oder Erneuerung der Anlage konnten den Bau- und Betriebsausschuss des Abwasserverbands nicht überzeugen. Ihnen war nicht klar, ob eine Weiterführung des bisherigen Systems für die nächsten 30 Jahre die geeignete Lösung darstellt. Deshalb haben sie am RIF-Pilotprojekt teilgenommen, um in einem strategischen Planungsprozess die Herausforderungen der Zukunft an die Abwasserwirtschaft zu erkennen und ein breites Alternativenspektrum an Lösungen zu bewerten. Mit einem ganzheitlichen Blick auf die Abwasserwirtschaftsaufgaben des Abwasserverbands, der Gemeinden und des Kantons wurden weitere Optimierungspotenziale jenseits der Kläranlage untersucht. Für die zukünftige Strategie haben Interessenvertreter der Region als Teilnehmer im RIF-Prozess Varianten empfohlen, die vorher kaum diskutiert worden waren: die Bildung eines integrierten Infrastrukturunternehmens, das die Gemeinden weitgehend von ihren abwasserbezogenen Aufgaben entlastet und später weitere Aufgaben, z.B. die Trinkwasserversorgung, übernehmen kann. Alternativ sollen Möglichkeiten eines Anschlusses an eine Nachbar-ARA auf deutschem Gebiet geprüft werden. Letzteres galt im Vorfeld als politisch nicht durchsetzbar. Die offene, vorbehaltlose Diskussion und transparente Analyse von Vor- und Nachteilen verschiedener Lösungsvorschläge hat die Teilnehmer im RIF-Prozess überzeugt und zu einem klaren Votum über die zukünftige Ausrichtung der Abwasserwirtschaft geführt.

Der «Regional Infrastructure Foresight»-Ansatz

Der Planungsansatz «Regional Infrastructure Foresight» enthält folgende vier Elemente:

- ▶ Entwickeln von Szenarien der Region und des Umfelds der Siedlungswasserwirtschaft in 25 Jahren. Daraus lassen sich Unsicherheiten in der Umfeldentwicklung systematisch aufzeigen.
- ▶ Auslegeordnung der Handlungsoptionen für die Abwasserwirtschaft in der Region. Die Lösungsansätze beinhalten technische und organisatorische Elemente (siehe Abbildung): Vergrößerung oder Verkleinerung des Einzugsgebiets? Abspecken oder Aufstocken bei den Aufgaben der Abwasserorganisation? Heutige Technik oder innovative Zukunftstechnologien? Zentrale oder dezentrale Entsorgung?
- ▶ Umfassende Analyse der Zieldimensionen einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft in der Region. Das schafft Transparenz über besondere Herausforderungen in den einzelnen Szenarien.
- ▶ Schliesslich werden die Optionen bewertet. Ausgehend von den künftigen Forderungen von Bürgern und Betrieben an die Siedlungswasserwirtschaft können die einzelnen Handlungsoptionen je nach Umfeldszenario priorisiert werden. Die Bewertungen werden verglichen, und schliesslich werden diejenigen

Optionen gewählt, die sich durch eine hohe Wünschbarkeit und ein geringes Konfliktpotenzial auszeichnen.

Nutzung regionalen Wissens

Bei konventionellen Planungen delegiert die Abwasserorganisation oft weitreichende strategische Festlegungen zur weiteren Entwicklung der Abwasserwirtschaft an planende Ingenieurbüros. Die Idee des RIF-Prozesses ist es dagegen, dass die grundlegende Strategie von lokalen Entscheidungsträgern eigenständig mitentwickelt wird. Im Rahmen von zwei Workshops werden diese durch Vertreter regionaler Interessengruppen ergänzt. So werden deren Zukunftserwartungen und Interessen bei der Bewertung mitberücksichtigt.

Resultat: Strategischer Massnahmenplan

Das Ergebnis des RIF-Prozesses ist eine strategische Empfehlung für die langfristige Ausrichtung der Abwasserentsorgung in der Region, kombiniert mit einem Massnahmenplan für die nächsten Schritte des Planungsprozesses.

Die Fallstudien kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Im Klettgau (siehe Box) resultierten zwei Alternativen als Empfehlung, die vorher nicht als akzeptabel erschienen oder über die kaum diskutiert wurde. Im Kiesen- und Aaretal wur-



Das Planungsverfahren RIF fördert langfristige Strategien anstelle von kurzfristigen Rettungsversuchen.

den Möglichkeiten einer verstärkten Zusammenarbeit geprüft und der Zusammenschluss mehrerer Verbände als mittelfristige Vision formuliert. Im wirtschaftlich hoch dynamischen Raum Dübendorf/Wangen-Brüttisellen/Dietlikon wurde vorgeschlagen, ein integriertes Abwasserunternehmen zu bilden, das weitere abwasserbezogene Dienstleistungen den Gemeinden anbietet.

Zukunftsfähige Lösungen

Die Anforderungen an die Abwasserwirtschaft steigen, die Mittel werden knapper. «Regional Infrastructure Foresight» ermöglicht es den Entscheidungsträgern, die Abwasserwirtschaft als Ganzes zu betrachten – vom Hausanschluss bis zum Gewässer. Synergien mit Gemeinden und mit anderen Abwasserentsorgern in der Region können ausgelotet werden. RIF erfüllt den Bedarf nach einer breiten Abklärung strategischer Handlungsmöglichkeiten für eine zukunftsfähige Abwasserentsorgung. ○ ○ ○

Das Projekt RIF wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes 54 «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung» gefördert: www.nfp54.ch; Projektpartner der Eawag sind: ETH Zürich, Universität Bern, Empa, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (D).

Störmer E., Ruef A., Truffer B. (2007): Regional Infrastructure Foresight. EFMN Brief No. 116. www.efmn.eu

Störmer E. (2007): Nachhaltige Strategieplanung für die kommunale Abwasserentsorgung. *Umweltperspektiven* Oktober 2007.

Dominguez D., Worch H., Markard J., Truffer B., Gujer W. (2008): Closing the Capability Gap: Strategic Planning for the infrastructure sector. *California Management Review* (submitted).



Die Eawag

durch das Jahr

2007

Unter der neuen Direktorin war die Eawag 2007 aktiv wie kaum je zuvor. Dank Janet Herings Einsatz als Vertreterin der vier Forschungsanstalten Empa, WSL, PSI und Eawag im ETH-Rat und ihrer internationalen Kontakte wurden neue Partnerschaften angegangen und bestehende intensiviert. 117 Gruppen besuchten 2007 die Eawag – mit Pascal Couchepin und Mortiz Leuenberger zeigten auch zwei Vertreter der Landesregierung Interesse an der Wasserforschung und dem Neubau Forum Chriesbach. Im Folgenden ein Rückblick auf einige weitere Ereignisse. Andri Bryner

Preise eingeehmt

Mehrere Eawag-Projekte sind auch 2007 mit Preisen ausgezeichnet worden und verschiedene Forscherinnen und Forscher wurden geehrt. Stellvertretend für alle seien die Folgenden hier erwähnt: Direktionsmitglied *Willy Gujer* wurde von der Technischen Universität Dänemark zum Ehrendoktor ernannt, *Urs von Gunten* (Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser) vom Technischen Institut in Harbin (China) zum Honorarprofessor. *Roland Schertenleib* (Direktion) hat zusammen mit *Markus Eggenberger* von der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit des Bundes die «Campaign Medal for the works in water sector in Vietnam» erhalten. Das Projekt der

autonomen Kleinkläranlage mit dem Recycling des gereinigten Abwassers auf der Bergstation Hohtälli Zermatt (3286 m ü. M.) wurde mit dem Mühlheim Water Award prämiert. Umwelttoxikologe *Roman Ashauer* konnte für seine Arbeiten über die Präzisierung von Wasserqualitätskriterien den hochdotierten «Innovative Science Award» des europäischen Zusammenschlusses der chemischen Industrie (cefic, Brüssel) entgegennehmen. ○○○

Wasser-Agenda 21

Um in Zukunft das Wasser möglichst umfassend bewirtschaften zu können, haben wichtige Akteure der schweizerischen Wasserwirtschaft unter Mitwirkung der Eawag das

Projekt «Wasser-Agenda 21» ins Leben gerufen. Die Initiative will die Herausforderungen der Wasserwirtschaft gemeinsam analysieren und Wege zu ihrer Bewältigung anbieten. Denn die bis heute in Sektoren aufgeteilte Orientierung erschwert einen gesamtwirtschaftlich optimalen Mitteleinsatz. Es mangelt an Gesamtstrategien und sektorenübergreifenden Koordinierungsmechanismen. Wasser-Agenda 21 wird sich 2008 zu einem Akteurnetzwerk der schweizerischen Wasserwirtschaft weiterentwickeln. Die Eawag wird die Akteure unterstützen und den Prozess einer zukunftsfähigen Ausgestaltung der Wasserwirtschaft massgeblich mitgestalten. ○○○

Urinseparierung als Chance

Die Urinseparierung ist für die Abwasserreinigung eine Chance, ganz besonders für die boomenden



Die Suche nach neuen, möglichst dezentral einsetzbaren Verfahren zur separaten Behandlung von Urin geht weiter.

Grossstädte in Küstennähe. Diese Botschaft haben am Eawag-Infotag vom 7. März 2007 gut 250 Teilnehmerinnen und Teilnehmer mitgenommen, zurück an ihre Stellen in Forschung, Verwaltung, Privatwirtschaft und Politik. Beiträge in TV, Radio und zahlreichen Zeitungen belegen, dass auch auf internationaler Ebene das Interesse der Öffentlichkeit am Thema gross ist. Mit dem Abschluss des breit abgestützten Projektes «Novaquatis» beendet die Eawag ihre Forschung auf dem Gebiet der separaten Sammlung und Behandlung von Urin jedoch nicht. Zurzeit werden neue Verfahren gesucht, wie die Nährstoffe Stickstoff und Phosphor möglichst frühzeitig, in dezentralen Anlagen, aus dem Urin entfernt und wieder gewonnen werden können. Und eine breit angelegte Analyse soll noch mehr Informationen liefern über Chancen und Einsatzmöglichkeiten solcher dezentraler Systeme.

www.novaquatis.eawag.ch



Wasserthemen verständlich erklärt: Information der Eawag an der Sonderschau Wasser im Rahmen der Messe muba.

Wasserthemen erklärt

An mehreren Anlässen, unter anderem am 20-Jahr-Jubiläum des Departements Umweltwissenschaften der ETH Zürich, im Rahmen eines Sommercamps für Kinder von Mitarbeitenden, an der «Nacht der Forschung» oder an der Messe Basel, haben Eawag-Forschende Wasserthemen einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. An der Sonderschau Wasser der muba standen das Projekt «Sound of Rivers» (Seite 29) und der globale Wasserverbrauch für die Nahrungsmittelproduktion im Zentrum: An einer Hörstation konnten die Besucherinnen und Besucher dem Klang der Basler Flüsse Birs, Wiese und Rhein lauschen und erhielten kompetente Auskünfte über den Zusammenhang zwischen dem Klangspektrum und der Vielfalt im Gewässer. Eine Riesenbratwurst verbildlichte den immensen Wasserverbrauch für die Fleischproduktion – für 1 kg Rindfleisch werden rund 15 000 Liter Wasser benötigt. ○ ○ ○

Ökotoxzentrum im Aufbau

Nach dem Bundesrat hat im Herbst 2007 auch das Parlament ein Zentrum für angewandte Ökotoxikologie an der Eawag bewilligt. Es wird 2008 zusammen mit der EPF Lausanne aufgebaut und soll die Lücke füllen, welche durch die Schliessung des Toxikologischen Instituts in Schwerzenbach 2001 entstanden ist. Bereits ist ein Businessplan erarbeitet worden, und im aufgestockten und Ende 2007 fertig sanierten Bürogebäude der Eawag in Dübendorf sind Räumlichkeiten für das Zentrum vorbereitet. Seine wichtigsten Aufgaben sind:

► **Drehscheibenfunktion:** Das Zentrum verfolgt die Entwicklung in der Ökotoxikologie und diskutiert aktuelle und künftige Probleme sowie Lösungen mit Praxis und Wissenschaft.

► **Forschung und Entwicklung:** Das Zentrum entwickelt u. a. Kosten und Zeit sparende Testmethoden zum Nachweis ökotoxischer Effekte oder neue Analysemethoden.

► **Informationsplattform:** Das Zentrum informiert über neue Erkenntnisse in Fachzeitschriften, anderen Medien und mit Weiterbildungsveranstaltungen für Fachleute und Studierende. Im Sinne des Service public ist es auch Anlaufstelle für Fachauskünfte.

Insgesamt steht für die Periode von 2008 bis 2011 eine Grundfinanzierung von jährlich 2 Millionen Franken zur Verfügung. ○ ○ ○

Feste gefeiert

Wie eine interne Umfrage gezeigt hat, ist die Zufriedenheit der Eawag-Mitarbeitenden mit ihrer Arbeit und ihrem Umfeld überdurchschnittlich hoch. Das mag viele Gründe haben,



Die Direktion im Musical «The Wizard of Schweiz».

einer davon ist sicherlich der gute Zusammenhalt in den Abteilungen und im ganzen «Betrieb». Dazu tragen der jährliche Eawag-Ausflug und die zur Tradition gewordenen Festlichkeiten das Ihre bei. Mit beinahe 400 Gästen der grösste Anlass war 2007 das Weihnachtsfest im Forum Chriesbach. Unter dem Motto «Stägeli uf, Stägeli ab» engagierten sich die organisierenden Supporteinheiten für einen gelungenen Abend. Mit einem eigens einstudierten Musical trug auch die Direktion ihren Teil zum unvergesslichen Fest bei. ○ ○ ○

Vorbildlich umgebaut

In Dübendorf wurde im Berichtsjahr das Bürogebäude von 1970 komplett saniert und um zwei Stockwerke erweitert. Nun muss die Eawag keine Räumlichkeiten mehr zumieten. Der Umbau spart jedoch nicht nur Miete: Dank diverser Verbesserungen ist



Das um zwei Etagen aufgestockte und sanierte Bürogebäude in Dübendorf.

der Energieverbrauch heute trotz der höheren Nutzfläche deutlich geringer als zuvor, und auf dem Dach soll später eine Fotovoltaikanlage den Anteil an Strom aus eigener Produktion weiter steigern. Zudem konnte die Raumaufteilung zwischen Forum Chriesbach, Labor- und Bürogebäude optimiert werden. Sämtliche Arbeitsplätze liegen jetzt nahe beisammen. Im Forum Chriesbach laufen zurzeit die Betriebsoptimierung und ein vom Bundesamt für Energie unterstütztes Projekt zur energetischen Detailbilanzierung. Als Nächstes folgen 2009 die Sanierung des Laborgebäudes und die Revitalisierung des Chriesbachs, der durch das Eawag-Gelände fliesst. Am Standort Kastanienbaum wurde das denkmalgeschützte, 1938 erbaute Bootshaus sanft renoviert, u. a. mit einer verbesserten Wärmedämmung, einer Vergrößerung der Fotovoltaikanlage, einer neuen Küche und Arbeitsplätzen für Doktorierende. Restauriert wurde auch das grosse Wandbild an der Aussenfassade, welches die Sage von Kastanienbaum darstellt. ○○○

Wassermanager lernen

45 international renommierte Expertinnen und Experten aus Forschung, Verwaltung, Nichtregierungsorgani-



IWMF-Teilnehmende an einem revitalisierten Abschnitt der Thur.

sationen und Wasserbaupraxis haben sich auf Einladung der Eawag im September zum International Water Management Forum 2007 getroffen. Der von Rückversicherer SwissRe unterstützte Anlass ist keine Tagung im herkömmlichen Sinn. Vielmehr bringt er Entscheidungsträger in einer Workshop-Atmosphäre zusammen, damit sie gegenseitig von ihren Erfahrungen profitieren – dieses Jahr zum Thema Flussrevitalisierungen. Mit einer langen Tradition im Wasserbau und einem gut verankerten Gewässerschutz hat die Schweiz für andere Länder Vorbildcharakter im Umgang mit Bächen und Flüssen. Viele Revitalisierungsvorhaben kommen jedoch nicht über das Planungsstadium hinaus, und selbst realisierte Projekte zeigen nicht immer den erhofften Erfolg. Eine der Schlussfolgerungen aus dem IWMF'08 war daher, dass den Entscheidungsabläufen, der Zieldefinition und der Erfolgskontrolle mehr Gewicht beigegeben werden muss bei Revitalisierungsprojekten. ○○○

Zusammenarbeit intensiviert

Über den Aufbau des Ökotoxizentrums und die gemeinsame Forschung im Bereich Ökotoxikologie hinaus hat die Eawag 2007 die Zusammenarbeit mit der EPF Lausanne erneut verstärkt. Insbesondere geht es um die Beteiligung von Forschenden der Eawag an der Lehre an der EPFL sowie um die Schaffung von gemeinsamen Professuren. Auch mit weiteren Institutionen hat die Eawag ihre partnerschaftliche Stellung vertieft, unter anderem:

► mit dem Joint Research Centre der EU-Kommission (JRC), insbesondere mit dem «Institute for Environment and Sustainability» in Ispra, Italien. Am 16. März 2007 fand an

der Eawag der JRC Information Day statt. Der Staatssekretär für Bildung und Forschung, Charles Kleiber, bezeichnete das Symposium als eigentlichen Startschuss zur Intensivierung der Forschungszusammenarbeit zwischen der Schweiz und der EU.

► mit dem Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfachs (SVGW) im Bereich der Wasserversorgung;
 ► mit dem «Electron Microscopy Center Zurich» der ETH Zürich im Bereich der Untersuchungsmethoden im biologischen Bereich;
 ► mit dem California Institute of Technology (Caltech) für ein Summer Undergraduate Research Fellows Program. ○○○

10-Punkte für die Fische

Ende August hat das breit abgestützte Projekt Fischnetz+ einen 10-Punkte-Plan präsentiert, wie die Fischbestände gesichert und den Fischen zu möglichst guten Lebensbedingungen verholfen werden kann. Denn seit 1980 haben beispielsweise die Bachforellenfänge in den Schweizer Flüssen um zwei Drittel abgenommen. Der Massnahmenplan fusst auf den Ergebnissen des Projektes Fischnetz. In diesem haben 1998–2003 die Eawag, das Bundesamt für Umwelt und sämtliche Kantone die Ursachen des massiven Fischrückgangs erforscht. Der Plan zeigt unter anderem auf, wie die Wasserkraftnutzung fischverträglich erfolgen kann oder wie Fischkrankheiten eingedämmt werden können. www.fischnetz.ch



Bestandteil des 10-Punkte-Plans ist eine fischverträgliche Gestaltung der Wasserkraftnutzung, u. a. mit Fischtrepfen an den Stauwehren.

Aus dem Personal

Neu an der Eawag

Gabriele Mayer: Anfang September hat Gabriele Mayer die Leitung der Personal- und Finanzabteilung übernommen. Sie ist diplomierte Betriebswirtin mit Schwerpunkt Touristik. Den BWL-Abschluss baute sie – kombiniert mit Auslandsaufenthalten im niederländischen Breda und in Madrid – zu einem «Master in European Tourism Management» der Universität Bournemouth aus. Gabriele Mayer arbeitete bei Kuoni, wo sie Abteilungsleiterin Finanzen & Administration Schweiz und Mitglied der Geschäftsleitung wurde. Später führte sie die neu gegründete Firma TRX Central Europe und baute in der Reisebranche einen Markt auf für automatisierte Technologien zur Abwicklung von Onlinebuchungen. Zuletzt war sie Finanzchefin Schweiz bei der Xerox AG.

In den Ruhestand getreten

Roland Schertenleib: Seit seinem ETH-Abschluss als Bauingenieur blieb Roland Schertenleib dem Wasser treu. Nach seiner Beratungstätigkeit für kommunale Kläranlagen und Kanalisationsnetze sowie dem Abschluss eines Masters in Sanitary Engineering an der Stanford University kam er 1976 in die Ingenieurabteilung der Eawag. Ab 1980 bis 2003 leitete er zuerst das hier angesiedelte «International Reference Center for Waste Disposal» der WHO und dann die Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec). Ab 2000 war er Mitglied der Direktion. Roland Schertenleib hat früh erkannt, dass es auch Aufgabe der Eawag sein muss, mit praxisnaher Forschung einen Beitrag zur Lösung der wachsenden Probleme in der Dritten Welt zu leisten. Dabei war es ihm stets ein grosses Anliegen,

die Forschungsprojekte in Zusammenarbeit mit lokalen Partnern zu entwickeln und durchzuführen und so immer auch Fach- und Forschungskompetenz an Ort zu fördern. Sein Wissen und seine vernetzte Arbeitsweise hat er in den verschiedensten internationalen Gremien eingebracht. Als Vorsitzender der Arbeitsgruppe Siedlungshygiene des Water Supply and Sanitation Collaborative Council (WSSCC) wirkte er entscheidend mit an der Formulierung der Bellagio-Prinzipien für eine nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft. Auch der «Household Centred Environmental Sanitation Approach» (Seite 39), ein neuer Ansatz für die Planung und Durchführung von Siedlungshygiemassnahmen in städtischen Gebieten von Entwicklungs- und Schwellenländern, geht auf seine Initiative zurück. In der Direktion der Eawag hat Roland Schertenleib unter anderem das Ressort Immobilien betreut. Seine grössten Herausforderungen in dieser Funktion waren die Fertigstellung des zukunftsweisenden «Forum Chriesbach» sowie die Planung und Realisierung des renovierten Bürogebäudes. In einigen Gremien, wie dem nationalen Kompetenzzentrum Nord-Süd oder im Projekt ESTNV zum Aufbau von Fachkompetenz für dezentrale Sanitärlösungen in Vietnam, wird die Eawag nicht auf seine Kompetenz verzichten müssen.

Barbara Sulzberger: Schon während ihrer Dissertation (Universität Bern 1983) und als Postdoc an der renommierten Royal Institution of Great Britain in London hat sich Barbara Sulzberger mit physikalischer Chemie befasst, damals mit der fotochemischen Gewinnung von Energie aus Sonnenlicht. Bis 1986 arbeitete sie als Forschungsschemikerin bei Ciba-Geigy. Dann hat sie an der Eawag eine Gruppe für Umweltfotochemie aufgebaut. Mit modernen Methoden hat sie fotochemische Prozesse an Mineraloberflächen in aquatischen Systemen und die Bildung reaktiver Sauerstoffspezies sowie deren Rolle für die Veränderung natürlicher und synthetischer Stoffe untersucht. 1998 hat sie an der Universität Bern

habilitiert und unterrichtete vorwiegend an der ETH Zürich. Eine Zeit lang hat sie die Chemieabteilung geleitet, wechselte aber 2000 nach der Reorganisation in die Limnologieabteilung. Dort baute sie eine neue Gruppe auf, mit der sie den Einfluss von Sonnenlicht auf die Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff, Eisen und Kupfer in Flüssen, Seen und Ozeanen untersuchte. Barbara Sulzberger hat zusammen mit Doktorandinnen und Doktoranden, Postdocs und Wissenschaftlichen Mitarbeitern eine grosse Zahl herausragender Arbeiten publiziert und wurde regelmässig an internationale Konferenzen und in Expertenkommissionen eingeladen. Ab 2002 war sie zusätzlich Chefredaktorin der Zeitschrift Aquatic Sciences. Sie bleibt Mitglied des Environmental Effects Assessment Panel der Vereinten Nationen.

Rudolf Müller: Wer immer etwas über die praktischen Belange der fischereilichen Bewirtschaftung wissen wollte, war bei Ruedi Müller am richtigen Ort – ob Verbände, Fischer oder Amtsstellen. Er fand immer einen guten Draht zur Praxis, dank seiner guten Französischkenntnisse auch zu den Romands. Begonnen hat die Eawag-Laufbahn des Biologen schon mit der Dissertation über die Körpertemperatur von Süsswasserfischen, die er 1974 abschloss. Nach einem Studienaufenthalt in Toronto wurde er ein Jahr später Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Eawag, von 1986 bis 1999 leitete er bis zur Reorganisation 2000 die Abteilung für Fischereiwissenschaften. Von 2000 bis 2006 war er Vorsitzender der Europäischen Binnenfischerei-Beratungskommission der FAO, von 1986 bis 1989 der erste Präsident der neu gegründeten Schweizerischen Gesellschaft für Limnologie (SGL). Ruedi Müller arbeitete in zahlreichen Kommissionen aktiv mit, von

der Arbeitsgruppe Kormoran und Fische des Bundes bis zum Expertengremium Ökosystemveränderungen des Brienzersees. Nach der Sandoz-Brandkatastrophe von Schweizerhalle kam ihm eine zentrale Funktion zu bei der Analyse der Auswirkungen der Rheinvergiftung. In seiner Forschung beschäftigte sich Ruedi Müller speziell mit der Frage, welche Fischarten in welcher Weise von der Überdüngung der Seen beeinflusst werden und wie mit einem geschickten Management auf die Veränderungen reagiert werden kann. In jüngerer Zeit forschte er vermehrt an populationsgenetischen und entwicklungsbiologischen Aspekten, beispielsweise an der Frage, wie Fischzucht und Besatzmassnahmen die genetische Vielfalt verändern. International war er wohl der prägende Felchenforscher.

Urs Uehlinger: Als Experte für die Ökologie von Fliessgewässern hat sich Urs Uehlinger international einen Namen geschaffen. 1977, gleich nach seiner Dissertation über Blaualgen an der ETH Zürich, kam er als Fachmann für die biologischen und physikalischen Vorgänge in Seen an die Eawag. In den 1980er-Jahren verlagerte er seine Forschungstätigkeit stärker auf Flüsse und Bäche, wo er sich insbesondere mit dem Nähr- und Feststoffumsatz beschäftigt hat. 1986 weilte er für ein Sabbatical an der Idaho State University (USA) und war von den unbeeinflussten, wilden Gewässern beeindruckt. Als Prof. James Ward 1995 die Limnologie-Abteilung übernahm, befasste sich Urs Uehlinger daher vor allem mit alpinen Fliessgewässern. Nach umfangreichen Arbeiten in Projekten im Val Roseg im Oberengadin publizierten Ward und Uehlinger schliesslich das Buch «Ecology of a Glacial Flood Plain». Urs Uehlinger hat zahlreiche Doktoranden und Diplomanden betreut und an der ETH Zürich Vorlesungen gehalten zur aquatischen Ökologie. Auch nach seinem Austritt aus

der Abteilung Aquatische Ökologie will er aktiv bleiben in der Fliessgewässerforschung.

Martin Wegelin: Der ETH-Bauingenieur Martin Wegelin absolvierte ein Nachdiplomstudium am IHE Delft und unterrichtete an der Universität in Dar es Salaam (Tansania), bevor er 1982 zur Eawag stiess. Anfangs erforschte er, wie Kiesfilter für die Trinkwasseraufbereitung und die Abwasserreinigung optimiert werden können. Seine Manuals werden heute noch konsultiert. Doch dann faszinierte ihn eine von Forscherkollegen belächelte Idee des libanesischen Professors Aftim Acra, dass es doch möglich sein sollte, Trinkwasser mit Sonnenlicht zu desinfizieren. Er verfeinerte sie und wies zusammen mit Silvio Canonica und Klaus Mechsner nach, dass ein solches Verfahren sehr wohl funktioniert und in Ländern mit mangelhafter Trinkwasserversorgung eine Chance sein kann. Seinem Engagement und seiner Hartnäckigkeit ist es zu verdanken, dass das Projekt «SODIS» (Solar Water Disinfection) von den unterschiedlichsten Geldgebern unterstützt wird und mittlerweile auch unter Experten international Anerkennung findet. Martin Wegelin war immer offen, auch für unkonventionelle Ideen. So gelang es ihm, die PET-Flasche als universelles Gefäss für Sodis zu etablieren. Er steht hinter dem Erfolg von Sodis, welches heute in mehr als 28 Ländern angewandt, von der WHO und vielerorts auf Regierungsebene unterstützt wird. «Mister Sodis» liess sich von Fehlschlägen nie entmutigen: Seine Trips nach Atlanta zum Coca Cola Headquarter sind an der Eawag legendär, auch wenn sie nicht zur erhofften Sodis-Anleitung auf allen Coca-Cola-PET-Flaschen geführt haben. Als Senior-Berater und Ansprechpartner für die Programme in Lateinamerika bleibt Martin Wegelin dem Sodis-Referenzzentrum an der Eawag erhalten.

Verstorben

Heinz Ambühl: Am 14. Mai 2007 ist Heinz Ambühl im 79. Altersjahr gestorben. Bereits mit seiner Dissertation «Die Bedeutung der Strömung als ökologischer Faktor», die mit der silbernen Medaille der ETH ausgezeichnet wurde, setzte der Hydrobiologe neue Massstäbe. Nach seiner Tätigkeit als kantonaler Wasserbiologe im Kanton Aargau wurde er 1960 Leiter der Eawag-Abteilung Hydrobiologie/Limnologie und übernahm zahlreiche Lehrverpflichtungen. 1972 wurde er zum a. o. Professor für Hydrobiologie gewählt. Viele der von ihm geförderten Aspekte, wie Fischbiologie, Fischbewirtschaftung, ökotoxikologische Fragestellungen oder multidisziplinäre Studien mit mathematischen Modellen, haben sich inzwischen als eigene Abteilungen der Eawag etabliert. Lange bevor es computerbasierte Literatursuchprogramme gab, hat er gegen 20 000 Originalarbeiten in einer Randlochdatei mit Hunderten von Fachbegriffen geordnet und der Eawag zugänglich gemacht. Als ehrenamtlicher Redaktor hat er die Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie zum renommierten Journal «Aquatic Sciences» entwickelt. Sauberes Arbeiten und eine adäquate Probenahmetechnik standen bei ihm stets an erster Stelle eines neuen wissenschaftlichen Programms. Fehlte eine entsprechende Analytik oder Technik, setzte er sich kurz entschlossen hin und konstruierte selbst eine ausgeklügelte Methode. Über dreissig Doktoranden und ungezählte Diplomanden konnten auf seine uneigennützige Unterstützung zählen. Seine langjährigen Ökosystemstudien sind heute noch Basis und «limnologische Goldmine» für zahlreiche Modelle und neue Projekte. Die Limnologie verliert mit Heinz Ambühl eine prägende Figur des schweizerischen Gewässerschutzes mit internationaler Ausstrahlung. ○ ○ ○

Bücher aus dem Wasser gefischt

Eawag-Empa-Bibliothek. Der Wasserforscher steht zerknirscht am Tresen der neuen Bibliothek. Seine ausgeliehenen Fachbücher seien bei der Feldarbeit «ein wenig nass» geworden, sagt er. Genau genommen gingen sie über Bord. Aber das macht keinen grossen Unterschied, denn sie müssen sowieso ersetzt werden. «Das ist aber die Ausnahme», sagt Bibliotheksmitarbeiterin



Eawag-Empa-Bibliothekar Bas den Brok im Gespräch mit Bibliotheksmitarbeiterin Stephanie Hofmann.

Jutta Studer. «Die allermeisten unserer Kunden sind vorbildlich», ergänzt Bibliothekar Bas den Brok, «und wenn doch einmal etwas passiert mit einem Buch, schämen sie sich und zücken das Portemonnaie.» Aber natürlich machen die Ausnahmen das Bibliothekarenleben spannend. Es gibt sie auch auf die positive Seite. Dann zum Beispiel, wenn Bücher zurückgebracht werden, die offiziell gar nie ausgeliehen waren. Doch auch auf diese Pappenheimer kann den Brok nicht wirklich böse sein: «Wenn ein Forscher so vertieft ist in seine Arbeit, dass er mit dem Buch aus der Bibliothek geht, ohne es abzubuchen, steckt keine Absicht dahinter», sagt er. Nicht so sanft umgehen würde er mit der Person, welche in regelmässigem Abstand eine bestimmte Zeitschrift mitlaufen lässt: «Das ist unfair gegenüber allen anderen. Wir sind kein Kiosk!» Die Bibliothek ausserhalb der mit Personal besetzten Zeiten abschliessen will den Brok nicht: Das Prinzip der offenen Türen

entspricht einem Bedürfnis der Forschenden, die trotz zunehmender Digitalisierung auch mal nachts um ein Uhr oder am Wochenende einen Artikel nachlesen wollen. Seit dem Sommer 2006 sind die Bibliotheken von Empa und Eawag am Standort Dübendorf im Neubau Forum Chriesbach vereint. 2007 hat daher die Zahl der ausgeliehenen Medien stark zugenommen – von rund 3200 auf 4900 (+53%). Auch der Sprung bei den registrierten Benutzerinnen und Benutzern war gross – von 1290 auf 1590 – so gross, dass sich die Betreiber des Bibliotheksnetzwerks «Nebis» erkundigt haben, ob wohl alles mit rechten Dingen zugegangen sei. Bas den Brok freut es. «Das zeigt, dass wir auf dem richtigen Weg sind.» Masse ist allerdings nicht alles: Würden, wie ursprünglich geplant, tatsächlich alle Bücher aus den Abteilungen nur noch zentral verwaltet, käme die Bibliothek rasch in Platznot. Wegwerfen fällt jedem Bibliothekaren schwer. ○○○

Auf hohem Niveau satt

Personalrestaurant aQa. Der Link auf den Menüplan des Personalrestaurants aQa zählt zu den meist angeklickten im Eawag-Intranet. Und als im Zuge einer Systemumstellung kurzzeitig die Empa-Mitarbeitenden keinen Zugriff mehr darauf hatten, kamen die Reklamationen prompt. Zwischen 220 und 280 Mahlzeiten verlassen täglich die vom Grosscaterer DSR betriebene Küche – nebst Eawag- und Empa-Mitarbei-

tenden besuchen auch Angestellte von umliegenden Unternehmen regelmässig das aQa. Ursprünglich konzipiert waren Küche und «Speisesaal» für 150 Gäste. Das fordert gelegentlich Improvisationstalent und Stehvermögen von der Equipe unter Küchenchef Peter Czerwinski. Etwa wenn ohne Vorwarnung plötzlich noch 50 zusätzliche Besucher verköstigt werden müssen oder damals, als ein Karton mit 20 kg gefrorenen Erbsen riss und seinen Inhalt über den Küchenboden ergoss. An die Grenzen gestossen ist das 5-köpfige aQa-Team (total 410 Stellenprozent) am Weihnachtsfest 2007: Über 360 Gäste standen an den Verpflegungsstationen im Atrium des Forums Chriesbach Schlange. Das hat aber reibungslos geklappt. «Der Schlag kam am Tag danach, als ich mich in der Küche erst durch rund 1000 nicht

abgewaschene Gläser und Berge von anderem Geschirr pflügen musste», sagt Peter Czerwinski. Doch auch diese Ernüchterung hat unterdessen wieder positiven Gefühlen Platz gemacht: «Die Echos der Gäste sind zu 99% sehr gut», sagt der Chefkoch. Reklamationen gab es, als der anliefernde Bäcker seine dunklen Fruchtbrotli aus dem Sortiment nahm. Nun bäckt Czerwinski diese selbst. ○○○

Täglich 40 Kilogramm Salat

Um 11.30 Uhr beginnt der erste Ansturm. Täglich bietet das aQa drei Menüs und ein Salatbuffet an. Eines der Menüs ist fleischlos und eines – es kann dasselbe sein – läuft unter dem Bio-Label «Goût Mieux.» Dass auch die für Umweltanliegen sensibilisierte Eawag-Belegschaft nicht einheitlich Bio ordert, erstaunt den Küchenchef nicht mehr: «Man isst, was gerade anspricht», sagt er. Fast 40 kg Salat bereitet sein Team täglich zu. 200 kg Kartoffeln, 80 kg Kaffeebohnen und 750 Liter Milch kauft er monatlich ein. www.dsr.ch, www.goutmieux.ch



Peter Czerwinski, Küchenchef im aQa: «Auch Umweltforscher essen nicht alle immer das Biomenü.»

Den Kindern ist es wohl

Kinderpavillon. Eveline Vonlanthen, die Leiterin der gemeinsamen Kindertagesstätte von Empa und Eawag, kommt etwas verspätet zum abgemachten Gespräch: Ein Vierjähriger ist unglücklich gefallen und hat nun eine Beule am Kopf. «Nichts Schlimmes», sagt sie, «aber es tut sicher weh. Da kann ich nicht einfach weglaufen.» Vor größeren Unfällen



Im Eawag-Empa-Kinderpavillon sind es oft die Väter, welche ihre Sprösslinge bringen oder abholen.

ist die farbenfrohe und gelegentlich lautstarke Kinderschar des Kinderpavillons bisher verschont geblieben. Ein gebrochener Finger war 2007 der einzige Ernstfall, bei dem auch die freiwillige Betriebssanität zum Einsatz kam. Die Kinder fühlen sich wohl in ihrer Tagesstätte. Vor allem die gemeinsamen Aktivitäten aller drei Gruppen haben sich zum Renner entwickelt, weil plötzlich neue Begegnungen möglich werden oder Geschwister, die bewusst nicht in der gleichen Gruppe betreut werden, dabei zusammen sein können. Zu solchen Unternehmungen gehören das Singen oder die wöchentlichen Waldtage und natürlich die verschiedenen Feste, zu denen dann auch die Eltern eingeladen sind.

Raum für Bewegung gibt es aber nicht nur im Wald oder im neu angelegten Garten rund um den KiPa, sondern auch im Gebäude selbst. Den breiten Spielkorridor jedenfalls

möchte keine der Betreuerinnen mehr mit den verwinkelten Räumlichkeiten im alten Haus tauschen. Wunschlos glücklich also? – geht die Frage an Eveline Vonlanthen. «Männer im Betreuerenteam wären für die Kinder eine gute Sache», sagt sie. Doch die Chancen stehen (noch) nicht sehr gut dafür. «Ach ja», ergänzt sie, «und ein Tipi im Garten wünschen wir uns schon lange.»



Kinderpavillon

Im Kinderpavillon werden von 7.30 bis 17.30 Uhr in drei Gruppen insgesamt 33 Kinder im Alter zwischen 4 Monaten bis zu 5 Jahren betreut. Trägerin ist ein Verein, die IG-Kinderpavillon. Empa und Eawag stellen der IG das im August 2006 bezogene, neue Gebäude zur Verfügung und übernehmen auch administrative Aufgaben. Kinder von Eawag- und Empa-Mitarbeitenden werden bevorzugt aufgenommen; die Eltern kommen in den Genuss von reduzierten Tarifen. Zwei Betreuungsplätze unterstützt die benachbarte Firma Givaudan für ihre Mitarbeitenden. 9 Fachfrauen, 4 Lernende und 3 Praktikantinnen kümmern sich um die Kinder. Die Mitglieder des Trägervereins arbeiten ehrenamtlich. Der KiPa ist zurzeit voll ausgelastet, für neue Kinder bestehen Wartezeiten zwischen 6 und 12 Monaten. www.kinderpavillon.eawag-empa.ch

Umweltfreundlich mobil

Umwelt-Team. Im Dezember 2006 hat sich die Eawag neue Energieziele mit stärkerer Berücksichtigung des Verkehrs gesetzt. 2007 haben wir begonnen, diese umzusetzen:

► Die Eawag trifft alle notwendigen Massnahmen, um ihren gesamten Strom- und Wärmebedarf schrittweise und ab 2010 vollständig mit erneuerbaren Energien und umweltfreundlich zu decken.

► Die Eawag deckt ihren Mobilitätsbedarf CO₂-neutral.

Weniger CO₂ und Mobilität. In Kastanienbaum konnte kürzlich die 10000ste Kilowattstunde Strom aus eigener Produktion gefeiert werden. Die neue Fotovoltaikanlage mit verdoppelter Fläche und einer Jahresleistung von 10 MWh wurde im Herbst 2007 in Betrieb genommen und wurde aus den CO₂-Abgaben für Flugreisen finanziert. Mit dieser internen CO₂-Abgabe vergünstigt die

Eawag auch die Generalabonnemente des öffentlichen Verkehrs für ihre Mitarbeitenden. Der Vorteil gegenüber einem Bonus für den Verzicht auf das Auto ist, dass diese Art der Unterstützung Administrationskosten spart und zweckgebunden bleibt. Viele setzen so auch im Privaten weitgehend auf den öffentlichen Verkehr. In einem Ecodrive-Kurs konnten 2007 Eawag-Mitarbeitende, die trotzdem auf das Auto angewiesen sind, beweisen, wie mit sparsamem Fahren der Treibstoffverbrauch vermindert werden kann.

Langsamverkehr bleibt attraktiv. Die Ausleihe der 50 Eawag-Velos floriert. In Dübendorf konnten wir am Bahnhof Stettbach ein Weiterbestehen der Veloeinstellmöglichkeit bis zum Bau der Glattalbahn aushandeln, eine Lösung für die Zeit danach ist in Bearbeitung. Ein kreuzungs- und lichtsignalfreier Veloweg ist kurz vor

der Umsetzung. Bei der Aktion «bike to work» konnten die Eawag-Teams – mit aktiver Beteiligung der Direktion – die Ergebnisse vom Vorjahr nochmals steigern.

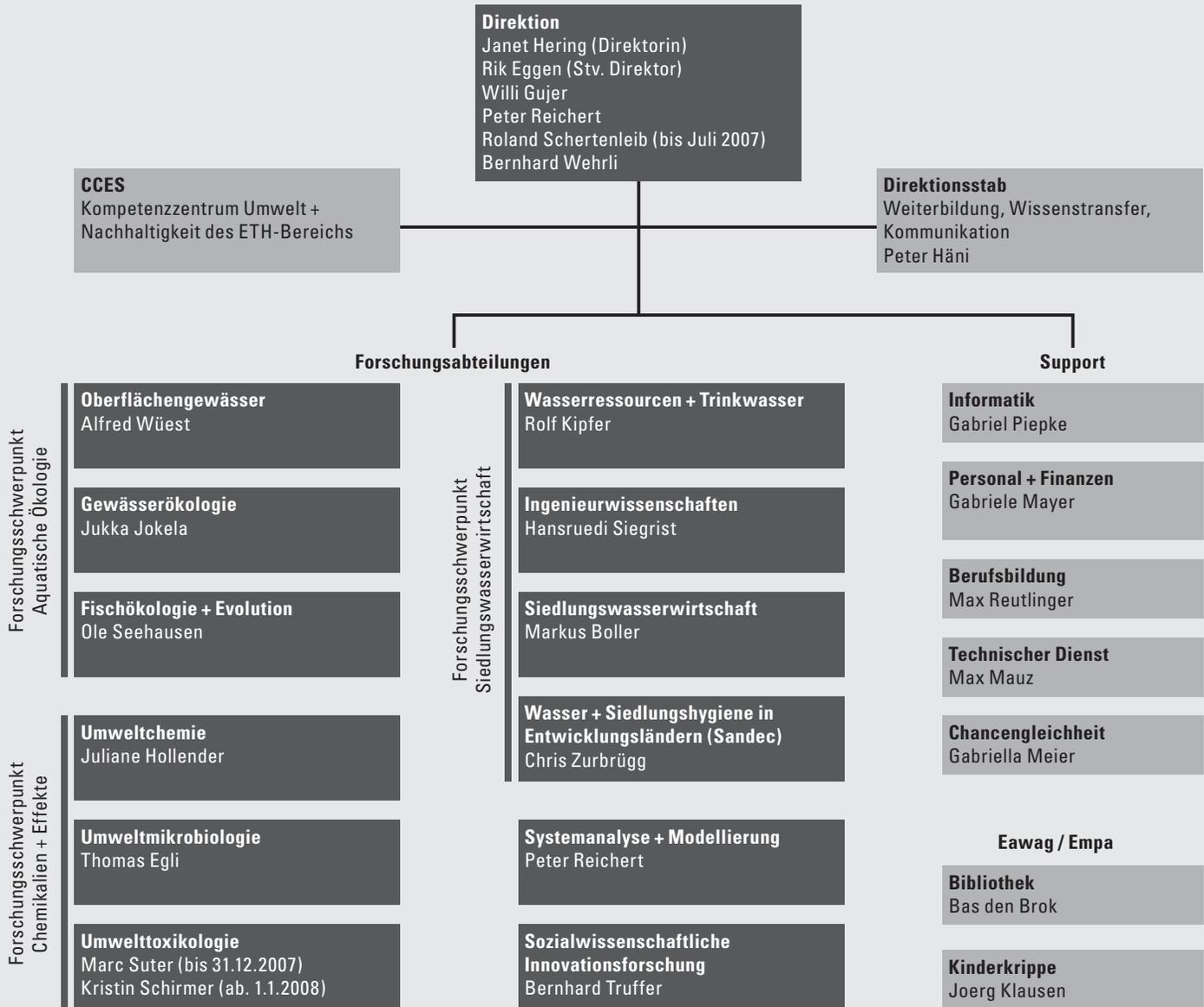


Thomas Lichtensteiger, in Zusammenarbeit mit dem Umwelt-Team
www.umwelt.eawag.ch



Die Fotovoltaikanlage auf dem renovierten Bootshaus in Kastanienbaum hat bereits mehr als 10000 kWh Strom geliefert. Sie wurde mit CO₂-Abgaben aus Flugreisen finanziert.

Organisation



Beratende Kommission



André Bachmann
(Präsident)
Direktor BMG
Engineering AG,
Schlieren



Ursula Brunner
Rechtsanwältin,
Ettler Brunner Suter
Bächtold, Zürich



Erika Forster
Ständerätin,
St. Gallen



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



Peter Arbenz
Präsident Helvetas



Jürg Meyer
Direktor
Gemeindeverband für
Abwasserreinigung
Region Luzern



Bruno Oberle
Direktor Bundesamt
für Umwelt (Bafu),
Bern

Direktion



Janet Hering
(Direktorin)



Rik Eggen
(Stv. Direktor)



Willi Gujer



Peter Reichert



Roland Schertenleib
(bis Juli 2007)



Bernhard Wehrli

Direktionsstab



Peter Häni
Leitung



Herbert Güttinger
Weiterbildung



Isabel Wiedmer
Wissenstransfer



Sandra Ziegler Handschin
Kommunikation

Forschungsabteilungen



Alfred Wüest



Jukka Jokela



Ole Seehausen



Juliane Hollender



Thomas Egli



Marc Suter
(bis 31.12.2007)



Kristin Schirmer
(ab 1.1.2008)



Rolf Kipfer



Hansruedi Siegrist



Markus Boller



Chris Zurbrugg



Peter Reichert



Bernhard Truffer

Support



Gabriel Piepke



Gabriele Mayer



Max Reutlinger



Max Mauz



Gabriella Meier



Bas den Brok



Joerg Klausen

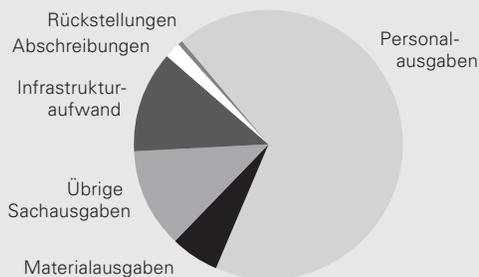
Finanzen

Erfolgsrechnung	2005	2006	2007
Personal	33 136 459	35 203 743	37 868 533
Material	2 310 907	2 911 752	3 260 866
Übriger Sachaufwand	5 051 942	5 556 131	6 781 444
Infrastrukturaufwand	3 399 665	5 160 395	6 710 435
Abschreibungen	1 029 614	871 718	1 082 462
Rückstellungen	19 660 190	10 088 456	296 041
Aufwand	64 588 777	59 792 195	55 999 781
Bundesbeitrag	46 624 468	49 795 822	¹ 38 491 577
Drittmittel	10 293 942	13 481 019	11 564 156
Diverse Erlöse	1 110 280	1 010 742	1 655 624
Ertrag	58 028 690	64 287 583	51 711 357
Ergebnis	-6 560 087	4 495 388	-4 288 424

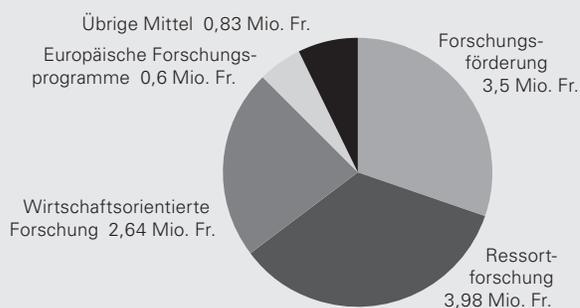
¹ neu ohne Baumittel

Investitionen	2005	2006	2007
Immobilien	18 463 636	6 883 301	12 780 799
Mobilien	2 259 269	2 439 510	1 663 563
Informatik	206 740	47 821	270 031

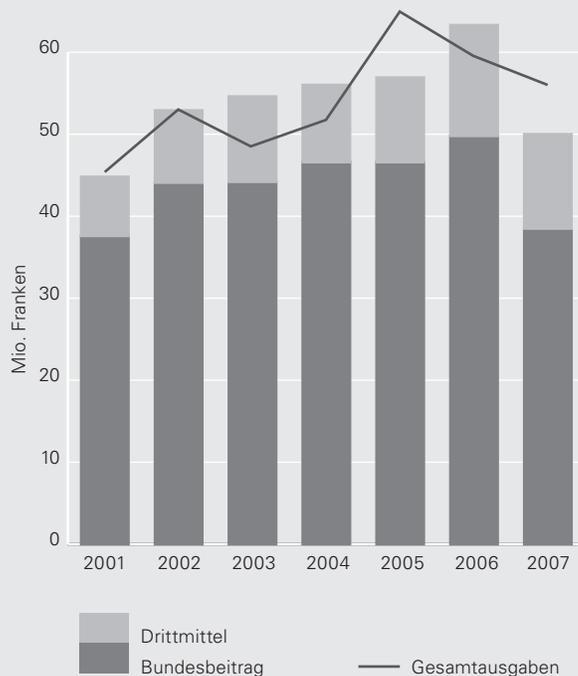
Ausgabenverteilung 2007



Drittmittel 2007



Entwicklung 2001–2007



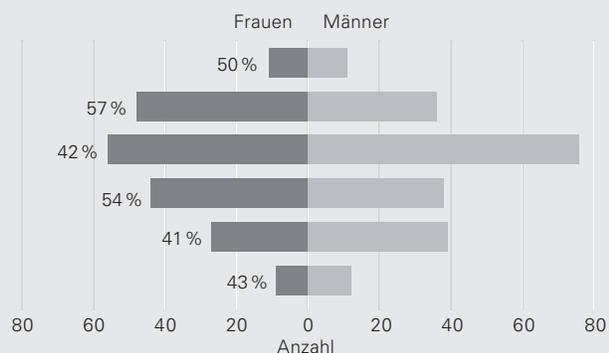
Personen

Personal	Personen	davon Frauen	davon Ausländer/innen	Vollzeit-äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren ¹	5	1	3	5
Assistenz- und Titularprofessorinnen und -professoren	13	2	5	13
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	152	50	81	134
Doktorandinnen und Doktoranden	76	37	40	71
Technisches Personal	78	37	8	64
Administratives Personal	63	55	8	43
Lernende	24	13	1	24
Praktikantinnen und Praktikanten ^{1,2}	12	6	7	12
Angeschlossene Mitarbeitende (Kinderkrippe) ¹	16	16	1	14
Total	439	217	15	380

¹ nicht oder nicht direkt von der Eawag angestellt.

² nur von Eawag entlohnte Praktika; insgesamt 2007: 63.

Altersstruktur	Frauen	Männer	Total
15–19	11	11	22
20–29	48	36	84
30–39	56	76	132
40–49	44	38	82
50–59	27	39	66
60–65	9	12	21
Total	195	212	407



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49 %	22	9	31
50–79 %	47	11	58
80–99 %	35	14	49
100 %	91	178	269

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	133	130	263
EU-Länder	48	66	114
Übriges Ausland	14	16	30

Aktivitäten

	2005	2006	2007
Betreute Dissertationen	105	107	108
Betreute Diplomarbeiten	97	104	108
Publikationen in referierten Zeitschriften	186	194	202
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	47	49	55
Spin-offs	–	1	–
Patente, Lizenzverträge	–	–	1
Dienstleistungsaufträge	39	38	28
Preise	8	24	19
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	85	93	75
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	31	37	39
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	10	10	4
Peak-Kurse (Weiterbildung)	9	6	5
Fachtagungen	39	45	54
Mitarbeit in Kommissionen	180	201	216

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, Peter Nadler

Gestaltung: TBS Identity, Zürich

Layout: Peter Nadler, SLS Nadler, Fällanden

Druck: Mattenbach AG, Winterthur

Copyright: Eawag, Mai 2008.

Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:

«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2007».

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
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

