eawag
aquatic research

Jahresbericht 2009

Eawag: Das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs

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 430 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig in Forschung, Lehre und Beratung.

Umschlag
Verfahrenstechniker Kai Udert erforscht an der Eawag, wie dezentrale Verfahren künftig für die Behandlung von Urin eingesetzt werden könnten – im Bild eine mikrobiologische, mit Urin beschickte Brennstoffzelle (siehe auch Seite 28).
Foto: Stefan Kubli, Zürich

Inhalt

2 Wort der Direktorin Prof. Dr. Janet Hering

4 – 17 Aquatische Ökosysteme

7 Eltern aus Fischzucht hinterlassen Erblast
9 Schweizer Forellen: Biodiversität erhalten
11 Sex hilft gegen Parasiten
12 Jurassic Park aus dem Greifensee
13 Rechnen statt Flüsse einfärben
14 Gletscher gehen, die Spezialisten auch
16 Fotobericht: Geschärfter Blick in den See

18 – 29 Urbane Wassersysteme

21 Effizientes Recycling einer knappen Ressource
24 Regen messen mit Mobilfunkantennen
25 Silbernanopartikel: Effiziente Kläranlagen
26 Sodis erfolgreich verbreiten
27 Was kostet die Unsicherheit der Zukunft?
28 Fotobericht: Forschen mit dem Rohstoff Urin

30 – 41 Chemikalien und Effekte

33 Biozide: aus Haus und Garten ins Gewässer
36 Sucralose: Ach, wie süss …
37 Monsun entzieht den Äckern giftiges Arsen
38 Cadmium auf der Spur
39 Betapeptide: Von Abbaustudien zu Produktionsverfahren
40 Fotobericht: Extrabehandlung für Spitalabwasser?

42 – 54 Die Eawag 2009

43 Durch das Jahr 2009
46 Verjüngungskur für ein 40-jähriges Haus
47 Das Ökotoxzentrum als starker Partner
48 Chancengleichheit und Genderfragen
48 Umweltteam: Bei CO_2-monitor dabei
49 Wasser-Agenda 21: Probleme gemeinsam lösen
50 Organigramm und Beratende Kommission
52 Finanzen
53 Personen
54 Aktivitäten

Nichts ist beständig ausser dem Wandel

Heraklit von Ephesus (ca. 535–475 v. Chr.)

Die Eawag hat sich als eines der führenden Zentren für Wasserforschung und -technologie einen internationalen Ruf erarbeitet. Dieser Status ist jedoch nicht selbstverständlich, sondern muss in einem zunehmend wettbewerbsbetonten Umfeld aktiv bewahrt werden. Die Eawag ist gut darauf vorbereitet. Denn in den Bereichen Wasserressourcen, Wasserversorgung und aquatische Ökosysteme erkennen wir heute schon künftige Probleme und forschen an Lösungen.

Im September 2009 wurde die Eawag von einem externen Komitee unter die Lupe genommen. Die Vorbereitung auf diesen Besuch bot Gelegenheit, unsere Leistungen seit der letzten Begutachtung im Jahr 2003 zu überprüfen und unsere Position in Forschung, Lehre und Beratung zu bewerten. Das Komitee stellte dann fest: «Die Eawag gilt seit Langem als führendes Zentrum – viele würden sagen, das führende Zentrum für Wasserforschung in der Welt.» Wir wurden aber auch aufgefordert,

- noch aufmerksamer zu verfolgen, welche Faktoren in der Schweiz und weltweit in den Bereichen Wasserversorgung, Wasserqualität und Funktionieren aquatischer Systeme die künftigen Probleme bestimmen,
- eine breit abgestützte Vision zu entwickeln, welches die grössten Herausforderungen sind, die sich aus diesen Problemen ergeben, und
- herauszuarbeiten, welche Stärken und Synergien die Eawag prädestinieren, diese Herausforderungen anzupacken.

Im neuen strategischen Plan für die Periode 2012–2016 werden wir diesen Punkten grosse Beachtung schenken.

Neue Technologien und Anwendungen

Häufig treiben neue Technologien und neue Anwendungen bestehender Technologien die Wissenschaft voran. Eine dauernde Herausforderung ist der Bedarf an zeitlich hoch aufgelösten Daten, welche die komplexe Dynamik von aquatischen Systemen einfangen können. Mit der unbemannten Messplattform «Cytobuoy» wollen wir diesen Bedarf decken. Sie erfasst in verschiedenen Seetiefen mehrmals täglich Daten über Phytoplankton und übermittelt sie an Land (S. 16). Eine neue Methode misst Niederschläge mit Hilfe von Signalen aus der Mobiltelefonie (S. 24). Für die Wasseraufbereitung haben Eawag-Forscher Anwendungen von Ultrafiltrationsmembranen entwickelt, die keine externe Energiequelle und kaum Unterhalt benötigen, sodass sie in Entwicklungsländern oder im Gebirge eingesetzt werden können. Gemeinsam mit Industriepartnern werden verschiedene Technologien zurzeit in einer Pilotanlage und zusammen mit der Empa im Wohnmodul «Self» getestet (S. 21).

Themen von morgen erkennen

Die Fortschritte in unserer Forschung und Entwicklung müssen mit neuen Herausforderungen Schritt halten. Eawag-Wissenschafterinnen und Wissenschafter gehen zum Beispiel den Vorzeichen des Klimawandels in alpinen Ökosystemen nach (S. 14) oder sie untersuchen, wie neue Materialien aus Konsumgütern in die aquatische Umgebung gelangen und was sie dort bewirken. Wir haben das Verhalten von Silber-Nanopartikeln in Kläranlagen (S. 25) und das Vorkommen von künstlichen Süssstoffen in Binnengewässern untersucht (S. 36). Auch die noch junge Forschung zu den genetischen Grundlagen der Artenvielfalt hat bereits zu zahlreichen neuen Erkenntnissen geführt, zum Beispiel über den Vorteil der sexuellen Fortpflanzung im Kampf gegen Parasiten (S. 11) oder über die vermutlich negative Auswirkung von Besatzmassnahmen auf die genetische Vielfalt unter den Fischen (S. 7).

Interessengruppen einbinden

Lösungen finden und umsetzen erfordert nicht nur Forschung an vorderster Front, sondern auch das Einbinden von Interessengruppen und externer Experten. So unterstützen Eawag-Wissenschafter die Regierung von Ruanda bei der Überwachung der Methanförderung

aus dem Kivusee (S. 4). Im eigenen Land erforschen wir, wie die Menge an Mikroschadstoffen reduziert werden könnte, die aus Spitälern zu den Kläranlagen und anschliessend in die Gewässer gelangt (S. 38). Unsere Untersuchungen zur Entfernung von Mikroschadstoffen in Kläranlagen haben massgeblich dazu beigetragen, dass das Bundesamt für Umwelt nun eine erweiterte Abwasserbehandlung verlangt (S. 28).
Eine Plattform für verschiedenste Interessengruppen ist die Wasser-Agenda 21: Eawag-Forschende wirken hier mit in Arbeitsgruppen zu Wasserkraft, integralem Einzugsgebiet-Management sowie zur Zukunft der Wasser- und Abwasser-Infrastruktur (S. 27). Auch das von Eawag und EPFL seit Mitte 2008 betriebene Zentrum für angewandte Ökotoxikologie hat zusammen mit zahlreichen Interessenvertretern bereits ein starkes Paket geschnürt mit Weiterbildung und anwendungsorientierten Projekten.

Zukunft nicht allein gestalten

Unsere hervorragenden Aktivitäten in angewandter Wissenschaft, Ausbildung und Beratung sind Grundlage für die Zusammenarbeit mit Partnern in der akademischen Welt, aus Praxis, Regierungen und Öffentlichkeit. Ein Beispiel ist die Beteiligung der Eawag am Nationalen Forschungsprogramm NFP 61 zur nachhaltigen Wassernutzung, wo wir fünf Projekte leiten und an drei weiteren beteiligt sind. Im Bereich Ausbildung werden wir die starke Kooperation mit den beiden ETH in Zürich und Lausanne, den kantonalen Universitäten und internationalen Partnern fortsetzen. Auch die 2009 sehr erfolgreichen Sommerakademien sollen weitergeführt werden. Schliesslich suchen wir im Rahmen der strategischen Planung für den Zeitraum 2012–2016 nach Möglichkeiten, um die fach- und transdisziplinare Forschung zu stärken und Interessengruppen beim Aufzeigen von Forschungsprioritäten noch stärker einzubinden. Das Ziel bleibt, wichtige Beiträge für Wissenschaft und Gesellschaft zu leisten – Beiträge, welche sich um den Wasserbedarf der Menschen kümmern und gleichzeitig die «Ecosystem services», also die Nutzen natürlicher Ökosysteme, bewahren.

Unserere Forschungserfolge müssen Schritt halten mit den ständig neuen Herausforderungen.

Prof. Dr. Janet Hering, Direktorin

Aquatische Ökosysteme

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

FORSCHEN

Leidenschaft und Nutzen verbinden

Hitoshi Araki ist ein stiller Schaffer, entspricht ganz dem Bild des Wissenschafters, der spätnachts am Computer Daten auswertet, an einem Artikel für eine Fachzeitschrift schreibt und nach aussen wenig Emotionen zeigt. Doch heute strahlt er: Seine bis anhin wohl bedeutendste Arbeit zur Aussetzung von Zuchtfischen und zu den Folgen dieser Praxis ist in den renommierten «Biology Letters» veröffentlicht worden (S. 7). Das ist dem Forscher, was dem Architekten die Einweihung eines neuen Hauses ist. «Es war der Fehler meines Vaters, dass er mich zum Fischen mitgenommen hat», sagt er, «sonst hätte ich vermutlich einen ‹normalen› Job gewählt.» Heute kann er sich ein Leben ohne die Wissenschaft nicht mehr vorstellen: «Sie ist meine Leidenschaft geworden.» Begonnen hat er seine Forscherlaufbahn nicht mit Fischen, sondern mit Fruchtfliegen und Bakterien. Die Evolution lässt sich an allem Lebendigen studieren. Doch die Jugenderlebnisse brachten ihn zu den Fischen. An der Oregon State University und seit 2008 als Gruppenleiter an der Eawag setzt er sich nun mit Fischökologie, Populationsgenetik und der Evolution der Fische auseinander. Entgegen dem ersten Eindruck betont er, dass der Spass am immer tieferen Vordringen in die evolutionären Abläufe kein Selbstzweck sei: «Ich will dazu beitragen, dass wir lernen, wie Einflüsse des Menschen auf natürliche Ökosysteme verhindert oder gemildert werden können.»

LEHREN

Entdeckerfähigkeit weitergeben

Flavio Anselmetti sagt: «Ich bin privilegiert. Ich darf Sachen entdecken.» Wer den Geologen in einer Vorlesung erlebt, merkt rasch: Anselmetti will dieses Privileg nicht für sich behalten. Er führt den Studentinnen und Studenten seine Fähigkeit zum Entdecken vor. Und wie er einst, verlieren damit auch seine Lehrlinge die Unschuld, die Landschaft oder ein Gewässer bloss mit dem Postkartenblick zu betrachten. «Es sind immer Prozesse sichtbar, wenn man die Dinge lesen lernt», sagt der Professor. Die schwarze Schicht im Zürichseesediment zum Beispiel ist nicht einfach ein Muster. Sie bildet die vom Menschen verursachte Umweltveränderung ab, als dem See vor gut 100 Jahren am Grund die Luft ausging, weil er mit zu vielen Nährstoffen belastet wurde. Statt gut zersetztes und von Organismen durchmischtes Material lagerte sich nun der schwarze, halb vergorene Schlamm aus abgestorbenen Algen ab. Solche, teils auch erst in jüngster Zeit erfolgte Veränderungen dokumentieren zu können, mache seine Disziplin attraktiv, ist Anselmetti überzeugt und bereut es nicht, dass er nach der Dissertation und einer Postdoc-Zeit in Florida das lukrative Angebot ausgeschlagen hat, bei einer Ölfirma weiterzuforschen. Und was bringt ihm sein Engagement im Hörsaal und auf Exkursionen mit den Studierenden? Anselmetti muss schmunzeln über diese Frage: «So kann ich für die Eawag und meine Themen die besten Masterstudenten und Doktoranden auslesen.»

BERATEN

Die Gasmassen im Auge behalten

Natacha Tofield Pasche hat an der ETH Lausanne Umweltingenieurwissenschaft studiert und an der Eawag ihre Doktorarbeit verfasst zum Nährstoffkreislauf und zur Methanproduktion im afrikanischen Kivusee. Dieser See zwischen Ruanda und der Demokratischen Republik Kongo ist rund eineinhalb Mal so gross wie der Kanton Zürich. Das Einzigartige: In seiner Tiefe sind gegen 60 Kubikkilometer Methan und 300 Kubikkilometer CO_2 gelöst. Ruanda will das Methan jetzt zur Stromproduktion nutzen. Ein erstes Pilotkraftwerk in Gisenyi ist in Betrieb. Doch niemand weiss genau, wie der See auf die Gasentnahme reagieren wird. Im allerschlimmsten Fall könnte ein Ausbruch grosser Gasmassen tödliche Folgen haben. Im Team von Prof. Alfred Wüest hat Natacha Tofield Pasche an der Eawag daher an Empfehlungen zur Methanentnahme mitgewirkt und war aktiv in der ersten Phase des Monitorings. Heute ist sie als Limnologie-Expertin vom ruandischen Ministerium für Infrastruktur angestellt. Sie baut ein Labor auf und bildet ein lokales Team aus, das Analysen bald selbstständig durchführen soll. Im Aufbau ist zudem eine von Kongo und Ruanda gemeinsam gestellte Behörde für die Langzeitüberwachung des Sees. «Meine an der Eawag gesammelten Erfahrungen mit Analysemethoden und mein Wissen über die Abläufe im See kann ich nun gut nutzen», sagt die Ingenieurin. «Gut ist auch, dass die Eawag mit neuen Doktorarbeiten weiterhin am Kivusee aktiv ist. So können meine Forscherkollegen und ich uns gegenseitig unterstützen.»

Eltern aus Fischzucht hinterlassen Erblast

Mit dem Aussetzen von jungen Fischen aus der Fischzucht wird versucht, den einstigen Fischreichtum von Flüssen und Seen aufrechtzuerhalten oder einzelnen Arten zum Überleben zu verhelfen. Jetzt zeigt eine Forschungsarbeit, dass sich solche Besatzmassnahmen negativ auf die Reproduktion der «wild» aufgewachsenen Fische auswirken können, und zwar auch nach längerer Zeit.

Der Besatz von grossen und kleinen Gewässern mit Fischen aus Fischzuchtanstalten hat weltweit und in der Schweiz eine lange Tradition. Damit versuchen Kantone und Fischereivereine den Rückgang der Fischbestände abzufangen und bedrohte Arten zu unterstützen, vor allem in Gewässern, wo eine natürliche Vermehrung kaum mehr möglich ist, weil die dafür nötigen Strukturen fehlen (siehe Box S. 10). Dank der grossen Zahl der eingesetzten Fische kann diese Praxis durchaus Erfolge verbuchen. Seit einiger Zeit weiss man aber, dass sich die Besatzfische – in den Fliessgewässern sind es zumeist Forellen – in der freien Natur schlechter fortpflanzen als ihre wild aufgewachsenen Geschwister. So haben der Evolutionsbiologe Hitoshi Araki und seine Kollegen in einem Artikel in «Science» beschrieben, dass diese Einbusse an Reproduktionsfitness der Besatzfische aus Zucht nahezu 40 % beträgt. Die Ursache ist in einer Veränderung unter den künstlichen Verhältnissen in der Zucht zu suchen. Über deren Hintergründe ist allerdings noch kaum etwas bekannt.

Die Fischzucht (unten) und das Aussetzen von Zuchtfischen können die genetische Vielfalt der ursprünglichen Fischarten gefährden (Foto: Michel Roggo). Um diese Genvielfalt analysieren zu können, müssen Gensequenzen zuerst mit PCR-Geräten vervielfältigt werden; im Bild die Gewässerökologin Katri Liljeroos (Foto: Eawag, Stefan Kubli).

Effekte auf Nachkommen übertragen

Jetzt zeigt Araki in einer neuen Studie, dass diese Veränderungen vererblich sind und sich auf die in der Natur geborenen Nachkommen von ausgesetzten Fischen übertragen, was auch deren Reproduktionsfitness verringert. Araki bezeichnet diese Abwärtsspirale als «Carry-over effect» (Übertragungseffekt).

Für die Untersuchung wurde der Hood River, ein Seitenfluss des Columbia River im Westen der Vereinigten Staaten gewählt. Denn von diesem Fluss liegen lange Datenreihen zu den zurückkehrenden Fischen und über die Besatzmassnahmen vor. Speziell untersucht hat Araki die Jahrgänge 1999 bis 2001 der Stahlkopfforelle (die vom Meer aufsteigende Form der Regenbogenforelle, *Oncorhynchus mykiss)* und deren Nachkommen.

Fitness des ganzen Bestandes geschwächt

In den drei Jahren kehrten 2520 wild geborene, erwachsene Exemplare dieses Fisches an ihre Laichgründe im Hood River zurück. Von 779 konnte mit einer Genanalyse bestimmt werden, ob ihre Eltern aus Zucht stammten

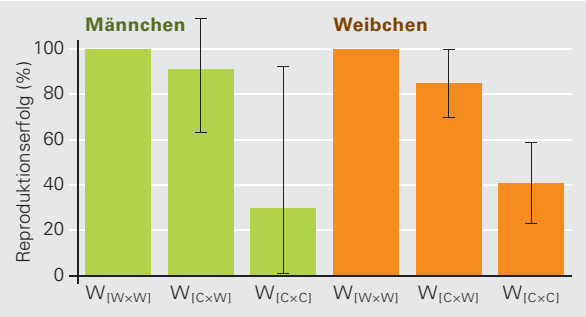


Abb. 1: Reproduktionserfolg von wild geborenen Fischen. Wurden beide Eltern auch schon wild geboren (w × w), wird er als 100 % gesetzt. Relativ dazu sinkt er auf 84 % (Weibchen) und 91 % (Männchen), wenn die Mutter oder der Vater aus Zucht stammt (c × w). Stammen beide Elternteile aus Zucht (c × c), sinkt er auf 30 % bei den Männchen und 41 % bei den Weibchen. Mittelwerte aus 3 Jahren. Schwarze feine Balken = Standardabweichung.

oder bereits wild geboren wurden. In den Jahren von 2001 bis 2007 wurden dann 1348 ihrer Nachkommen – also die dritte untersuchte Generation – mit derselben Methode zugeordnet. So konnten die Forscher mit statistischen Methoden auf die Reproduktionsfitness der zweiten Generation zurückschliessen. Die Resultate (Abb. 1) sprechen eine deutliche Sprache: Relativ zu den Nachkommen von Eltern, die beide wild geboren wurden, weisen die Fische von Eltern aus Zucht eine Reproduktionsfitness von lediglich 37 % auf. Fische, bei denen ein Elternteil aus Zucht stammte, der andere wild geboren wurde, kommen auf 87 % (Mittelwert über drei Jahre und beide Geschlechter). Verglichen mit einem Bestand, der sich eingestellt hätte, wenn alle Nachkommen wild geborene Eltern gehabt hätten, sank die Reproduktionsfitness der gesamten Stahlkopfforellen-Population im Hood River um 8 Prozent.

Eindeutige Interpretation

Negative Effekte von Zuchtprogrammen sind für Forellen besonders heikel, denn weltweit sind die ursprünglichen, «wilden» Bestände der Salmoniden stark im Rückgang und fast überall wird versucht, sie mit Aufzucht und Besatzmassnahmen zu stützen. Dabei gibt es kaum Beweise, dass dies die Produktivität einer wilden Population langfristig fördert. Ausserdem birgt der Besatz das Risiko, dass Krankheiten eingeschleppt werden. Die von Araki untersuchten Fische stammen alle aus demselben Fluss, lebten mit grosser Wahrscheinlichkeit in denselben Umweltverhältnissen und laichten in denselben Jahren. Somit kann praktisch nur die genetische Differenzierung während der Zucht ihrer Elterngeneration verantwortlich gemacht werden für die grossen Unterschiede ihrer Reproduktionsfitness. Zudem überträgt sich dieser Effekt aus der Zucht auf die folgenden Generationen, auch wenn die Variation von Jahr zu Jahr recht gross sein kann, wie die Standardabweichung in Abbildung 1 zeigt.

Was bedeutet das nun für die Artenschutz- oder Besatzprogramme? Besatzmassnahmen können die Grösse einer Fischpopulation aufgrund der hohen Zahl von Besatzfischen zwar vorübergehend stützen. Doch der negative genetische Effekt aus der Zucht ist offensichtlich so stark, dass er auch über mehrere wild lebende Generationen bestehen bleibt und sich kumulieren kann. So kann die Reproduktion eines ganzen Bestandes geschwächt werden. Der Carrry-over-Effekt ist umso bemerkenswerter, als dass die Eltern der in dieser Studie untersuchten Fische ja nur während eines einzigen Fortpflanzungszyklus aus ihrer natürlichen Umgebung gerissen wurden.

Umkehr höchstens langsam

Da sich die reduzierte Reproduktionsfitness über Generationen überträgt, liegt auch ein weiterer Schluss nahe: Der ursprüngliche Zustand einer Fischpopulation wird sich selbst nach dem Abbruch von Besatzmassnahmen nie wieder einstellen. Und selbst wenn eine Annäherung an die Verhältnisse vor der Zeit des Besatzes stattfindet, läuft diese sehr langsam ab. Die Studie liefert damit auch eine mögliche Erklärung, weshalb Versuche, verschwundene Arten durch Aussetzungen wieder anzusiedeln, oft scheitern.

Noch hat die Forschung keine Antwort gefunden auf die Frage, welche Mechanismen genau für die beobachtete Abnahme der Reproduktionsfitness verantwortlich sind. Araki vermutet, dass die künstliche Umgebung der Fischzuchten einen vererblichen Zähmungseffekt (Domestizierung) hat. Zurzeit ist daher ein vom Nationalfonds unterstütztes Projekt im Gang, in welchem die Eawag den sehr rasch ablaufenden Evolutionsprozessen bei Bachforellen in Gefangenschaft auf die Spur kommen will.

Chancen zur Verbesserung

Parallel zu den eigenen Untersuchungen haben die beiden Evolutionsökologen Corinne Schmid und Hitoshi Araki auch die Studien von anderen Forschern unter die Lupe genommen. Sie analysierten dazu über 250 von Experten begutachtete Artikel aus den letzten 50 Jahren zur Frage: Sind Besatzmassnahmen mit Tieren aus der Zucht eine Hilfe für die Fischbestände oder führen sie eher zu Nachteilen? Unter den 70 Studien, die Vergleiche enthalten zwischen wilden und gezüchteten Beständen, weisen 23 eindeutig negative Effekte nach. 28 Studien zeigen eine geringere genetische Variation auf in Populationen, die aus Fischzuchten unterstützt wurden. In einigen Studien werden weder negative noch positive Effekte der Besatz-

massnahmen auf die Reproduktionsfitness der Fische beobachtet. Hingegen wird die erwünschte kurzfristige Wirkung auf die Bestandesgrösse nachgewiesen. Daraus schliessen Schmid und Araki, dass es sich lohnt, die Praxis von Fischbesatz und fischereilicher Bewirtschaftung von Gewässern noch genauer zu untersuchen und abzuklären, was verbessert werden kann. «Doch bis wir einen Weg finden, wie die negativen genetischen Auswirkungen auf wilde Bestände ausgeschlossen werden können, dürfen Besatzmassnahmen nicht länger als Patentrezept zur Stärkung bedrohter Populationen betrachtet werden», sagt Hitoshi Araki.

Schweizer Forellen: Biodiversität erhalten

Die Bachforelle ist die häufigste Fischart in Schweizer Fliessgewässern. Sie kommt in sehr unterschiedlichen Lebensräumen vor, von Gewässern im Mittelland bis zu alpinen Bächen. Die Umweltbedingungen an diesen Standorten unterscheiden sich zum Teil drastisch, nicht nur in Bezug auf die Wassertemperatur, sondern auch, wenn andere Faktoren wie Fliessgeschwindigkeiten, Sohlenmaterial, Nahrungsgrundlage, Fressfeinde oder Parasiten berücksichtigt werden. So tritt zum Beispiel die Forellenkrankheit PKD (Proliferative Nierenkrankheit) nur im Mittelland auf. Forellen leben also an verschiedenen Standorten unter ganz unterschiedlichen Umweltbedingungen. Ein Eawag-Projekt untersucht, ob die Fische Anpassungen an diese lokalen Gegebenheiten zeigen, die sich genetisch nachweisen lassen.

Einzugsgebiete nachweisbar

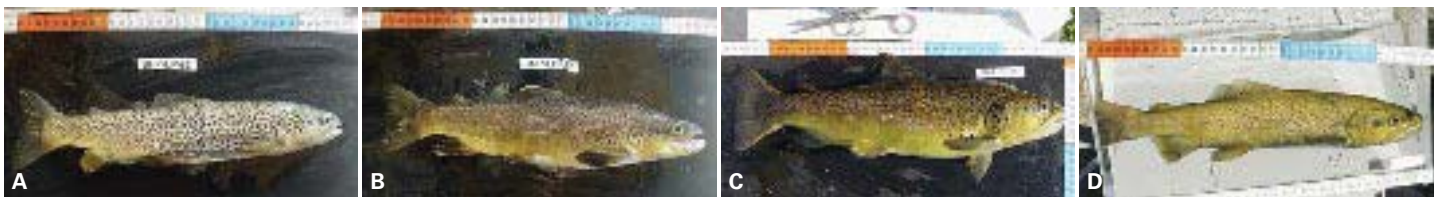
Den Forellen von 30 Populationen aus Rhein, Doubs und Po-Zuflüssen wurde eine kleine Gewebeprobe aus einer Flosse entnommen. Anschliessend charakterisierten die Wissenschafter im Labor mehrere hundert DNA-Abschnitte als genetische «Marker». Aus den Daten kann auf die genetische Ähnlichkeit der Fische geschlossen werden. Die Auswertung hat gezeigt, dass zumindest ein Teil der historischen Forellenvielfalt in der Schweiz weiterbesteht. So lassen sich immer noch deutliche genetische Unterschiede zwischen Forellen aus den verschiedenen Einzugsgebieten nachweisen (Abb. 2). Das ist nicht selbstverständlich. Denn gerade die Forellenpopulationen sind in der Schweiz über viele Jahrzehnte vom Menschen stark beeinflusst worden, unter anderem auch durch den Besatz mit Fischen unterschiedlichster Herkunft. Oft wurde davon ausgegangen, dass die ursprüngliche Diversität bereits verloren ist.

Die neuen Daten zeichnen jetzt nicht nur die Herkunft der Fische aus verschiedenen Einzugsgebieten nach. Vielmehr haben die Untersuchungen auch die Vermutung bestätigt, dass genetische Unterschiede zwischen Forellen im selben Einzugsgebiet vorhanden sind. So gibt es genetische Varianten, die in alpinen Gewässern viel häufiger sind als im Mittelland oder umgekehrt. Die Unterschiede sind so erheblich, dass sich für den Evolutionsbiologen Ole Seehausen die Frage stellt, ob es sich in einigen Fällen um verschiedene Forellenarten handelt.

Anpassung an die Umwelt

Seehausens Vermutungen, die sich vor allem auf äussere Merkmale stützen (siehe Bild der Forellen aus dem Puschlav), werden untermauert von den genetischen Analysen durch Irene Keller und Jolanda Schuler aus seinem Team. Viele ihrer Proben, welche quer durch das ganze Genom genommen wurden, zeigen klare räumliche Verteilungen innerhalb der Einzugsgebiete. Verschiedene Forellenpopulationen scheinen also auch im selben Einzugsgebiet unterschiedliche genetische Anpassungen an ihre Lebensräume zu besitzen. Für einzelne DNA-Abschnitte wiederholt sich das gleiche Muster in den verschiedenen Einzugsgebieten. Ähnliche genetische Varianten haben sich also vermutlich mehrmals unabhängig voneinander als Folge von Anpassungen an vergleichbare Umweltbedingungen durchgesetzt (Abb. 3). Von zwei Markern ist zudem aus anderen Studien bekannt, dass

Forellen des Ober- und des Unterlaufs scheinen sich untereinander kaum zu mischen.



Die auch äusserlich sehr verschiedenen Forellen aus dem Einzugsgebiet des Poschiavino:
A) Black Spot/Lago di Poschiavo, B) Marmorata-Forelle/Lago di Poschiavo, C) Bachforelle/Zufluss zum See, D) Adriatische Forelle/Zufluss zum See.

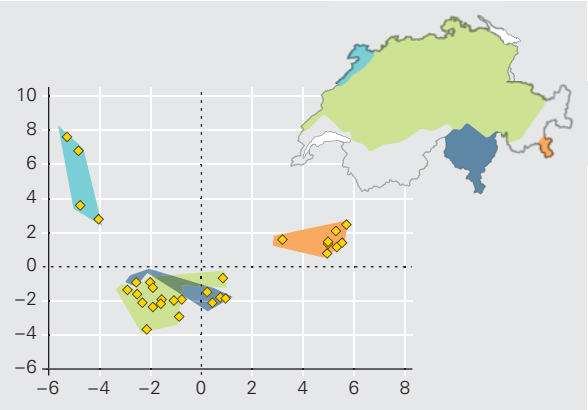


Abb. 2: Jeder Punkt stellt eine Forellenpopulation dar (d. h. Tiere von einem Standort). Die Skala der Achsen entspricht einem Index ohne Einheit. Je ähnlicher sich zwei Populationen genetisch sind, desto näher liegen die Punkte in der Grafik zusammen. Die Farben kennzeichnen die verschiedenen Einzugsgebiete. Inn und Rhone wurden in dieser Studie nicht untersucht.

sie Gene enthalten, welche die Temperaturtoleranz oder die Immunantwort eines Fisches mitbestimmen. Diese wurden am Beispiel des Juraflusses Allaine besonders genau unter die Lupe genommen. Es zeigte sich, dass im Oberlauf die eine Variante der Genausprägung und weiter flussabwärts die andere klar dominiert. Die Zahl der Fische mit Mischformen war verschwindend klein. Auch das stützt die These, dass es sich um verschiedene Arten handelt.

Die Daten zeigen aber auch deutlich den Einfluss von Besatz mit Forellen aus fremden Einzugsgebieten. Die trotzdem immer noch grosse genetische Vielfalt unter den Forellen – sowohl zwischen den grossen Einzugsgebieten als auch innerhalb einzelner Flüsse – ist unbedingt schützenswert. Denn diese Diversität wird mitbestimmen, wie gut sich die Arten an veränderte Umweltbedingungen werden anpassen können, etwa im Zuge des Klimawandels.

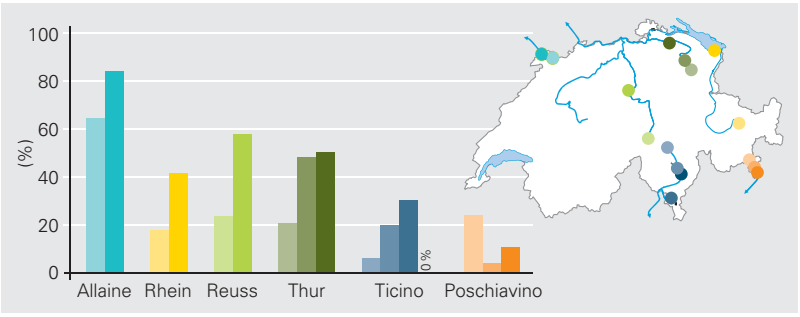


Abb 3: Häufigkeit der Fische an der jeweiligen Probenahmestelle mit dem von uns als Marker 66 bezeichneten DNA-Abschnitt. Innerhalb der Einzugsgebiete sind die Ergebnisse nach steigender Wassertemperatur (stimmt gut mit der Höhenlage überein) geordnet. Sie zeigen mit Ausnahme des Poschiavino und eines Ausreissers am Ticino alle dasselbe Muster.

Forellen brauchen Unterstände

Im Grunde genommen ist die Aussage simpel: Wenn in verbauten und begradigten Gewässern die Strukturen verloren gegangen sind, welche die Fische als Lebensräume benötigen, gibt es dort bald keine Fische mehr. Zwei neue Eawag-Arbeiten zeigen auf, welche Strukturen besonders wichtig sind und dass diese bei Revitalisierungen den Fischen wieder ausreichend zur Verfügung gestellt werden sollten.

▶ In der einen Studie wurden 2008 40 Fliessgewässerabschnitte in der ganzen Schweiz untersucht. Fischdichte und Biomasse der Bachforellen wurden dann mit verschiedenen Aspekten des Lebensraums verglichen. 84 % der Verteilung der Forellen-Biomasse konnten mit nur drei Grössen erklärt werden: der Vielfalt der Unterstände, der Gesamtfläche der Unterstände und der Beschattung.

▶ Für die andere Untersuchung wurden am Mühlebach im Fürstentum Liechtenstein auf einer sehr monotonen Strecke auf fünf Abschnitten insgesamt 45 grosse Bäume als strukturbildende Elemente in den Bach gefällt. In den folgenden Wintern haben Anzahl und Biomasse der Forellen in den «behandelten» Abschnitten gegenüber den Kontrollabschnitten deutlich zugenommen. Die Forellen suchten und nutzten das Totholz und die neu entstandenen Pools (tiefe Stellen) als schützende Unterstände.

Tot- und Schwemmholz, hier an der Lützelmurg, Kanton Thurgau, schaffen Unterstände für die Forellen.

Kontakt

Veränderungen durch Besatz:
Hitoshi Araki, hitoshi.araki@eawag.ch

Fischvielfalt Schweiz und weltweit:
Dr. Irene Keller, irene.keller@eawag.ch
Prof. Dr. Ole Seehausen, ole.seehausen@eawag.ch

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

Allgemeine Auskünfte:
Fischereiberatungsstelle FIBER
www.fischereiberatung.ch

Sex hilft gegen Parasiten

Warum sich grosse Teile des Tier- und Pflanzenreichs zur Fortpflanzung mit Sex abmühen, ist eine der spannendsten Fragen der Biologie. Eine Langzeitstudie unter Leitung der Eawag weist nun erstmals in natura nach, dass die sexuelle Vermehrung dank der Neukombination der Gene für eine Population langfristig einen Vorteil bringt, um gegen Parasiten zu bestehen.

Obwohl die sexuelle Fortpflanzung in der Biologie eine zentrale Rolle spielt, ist die Motivation zu Sex immer noch eines der grössten Rätsel der Evolution. Viele Pflanzen, Mikroben und sogar einige Reptilien können sich auch asexuell vermehren. Das scheint auf den ersten Blick effizienter, denn so müssen sich nicht erst zwei Individuen finden, von denen dann nur eines Nachwuchs hervorbringt. Trotzdem ist die sexuelle Vermehrung die dominierende Strategie. Warum, wenn doch die un- oder eingeschlechtliche Fortpflanzung eine doppelt so hohe Vermehrungsrate zulässt und erst noch andere Komplikationen vermeidet?

Der Evolutionsbiologe Jukka Jokela – bis Ende 2009 Leiter der Abteilung Gewässerökologie und nun Mitglied der Eawag-Direktion – untersucht seit bald 20 Jahren Wasserschnecken. Eine Art, die Neuseeländische Deckelschnecke, wurde um 1880 mit Frischfischen nach Europa verschleppt und hat sich seither über den ganzen Kontinent verbreitet. Ein Merkmal der rund 5 mm kleinen Schnecke ist, dass es Linien gibt, die sich sexuell, und Linien, die sich asexuell vermehren können. Zusammen mit Forschern von der University of Washington und der Indiana University hat Jokela verschiedene Populationen der Deckelschnecke untersucht.

Wettrüsten zwischen Wirt und Parasit

Das Team hat herausgefunden, dass die Schnecken mit den Parasiten, in diesem Fall einem Saugwurm, unterschiedlich gut zurechtkommen. «Zwischen den Parasiten und ihrem Wirt findet eine Art Wettrüsten statt», erklärt Jokela. Die Parasiten attackieren die Wirtsorganismen. Die Angegriffenen wehren die Plage ab – sofern ihre genetische Ausstattung das zulässt. Diejenigen, die sich am besten und ausdauerndsten verteidigen, überleben und vermehren sich. Der Parasit passt sich allerdings auch an und knackt Schutzmechanismen, worauf die Schnecken wieder am Zug sind. Dieser Wettlauf heisst Koevolution.

Maja Schaffner

Jukka Jokela in seinem «Schneckenlabor» mit den kaum 5 mm grossen Süsswasserschnecken.

Jungfernzeugung

Die kleine Süsswasserschnecke *Potamopyrgus antipodarum* kann sich sowohl sexuell als auch asexuell vermehren. Seite an Seite leben «normale» Männchen und Weibchen sowie Weibchen mit einem dreifachen Chromosomensatz. Letztere vermehren sich allein durch Jungfernzeugung (Parthenogenese) und bringen Klone ihrer selbst hervor. Alle Formen werden von einer Vielzahl parasitischer Saugwürmer befallen. In Europa ist bisher einzig die asexuelle Vermehrung beobachtet. Dies könnte auch eine Erklärung sein für das Massenauftreten mit folgendem Zusammenbruch der Populationen. So fanden sich in den 1970er-Jahren im Bodensee bis zu 100 000 Exemplare pro Quadratmeter. Heute ist die Schnecke zwar fast überall präsent, aber nirgends dominant.

Vorteil der Neukombination

Jokelas Langzeitstudie hat nun erstmals in natura nachgewiesen, was Theorie und mathematische Modelle schon vorhergesagt haben: Bei den zweigeschlechtlichen Schnecken kam es auch über mehrere Jahre zu keinen grösseren Schwankungen in der Zahl der Individuen. Bei den asexuell hervorgegangenen Tieren wurden jedoch binnen weniger Jahre anfangs häufige Klonlinien von anderen abgelöst: Die einstigen Gewinner, die bisweilen fast Monokulturen bildeten, waren besonders anfällig geworden für Parasiten und wurden stark dezimiert oder gar ausgerottet. Oder anders gesagt: Die Parasiten haben sich auf den am meisten zur Verfügung stehenden Wirt eingeschossen und dessen überall gleiche Abwehr durchbrochen. «Das beste Codeschloss nützt nichts, wenn weltweit alle Banken denselben Code verwenden», zieht Jokela den Vergleich. Sexuelle Fortpflanzung mit der ständigen Neukombination der Gene bringt also einen Vorteil in der Evolution, vor allem dort, wo viele Parasiten vorhanden sind. ○ ○ ○

Das beste Schloss nützt nichts, wenn es weltweit mit demselben Code geöffnet werden kann.

Kontakt:
Prof. Dr. Jukka Jokela; jukka.jokela@eawag.ch

Jurassic Park aus dem Greifensee

Vom Menschen verursachte Umweltveränderungen haben Einfluss auf die natürliche Artenvielfalt. So hat die Überdüngung des Greifen- und des Bodensees in den 1970/80er-Jahren dazu geführt, dass eine Wasserflohart genetisch verändert und schliesslich verdrängt wurde. Sie ist trotz der heute deutlich besseren Wasserqualität nicht wieder zurückgekehrt. Das konnte durch Erbgutanalysen von bis zu 100 Jahre alten Eiern des Wasserflohs nachgewiesen werden.

Die Evolutionsbiologin Nora Brede ist begeistert. «Wir konnten über 40 Jahre alte Dauereier aus dem Sediment des Greifensees im Labor wieder zu Leben erwecken.» Das Experiment à la «Jurassic Park» ist mehr als blosse Spielerei: So kann die Eawag rückwirkend prüfen, welche Wasserflohart 1960 im See dominiert hat oder ob die in den 1970er- und 1980er-Jahren vorherrschende Art gegenüber Schadstoffen toleranter wurde. Wasserflöhe (Daphnien) gehören zu den Krebsen. Sie können – zum Beispiel bei Nahrungsmangel – Dauereier produzieren, aus denen erst in besseren Zeiten wieder ein lebendiger Organismus heranwächst. Da die Eier in den datierbaren Sedimentschichten sauerstofffrei «eingelagert» sind, kann ihre Erbsubstanz auch nach über 100 Jahren noch bestimmt werden.

Die Art hat in nur 50 Jahren ihre Genomstruktur messbar verändert.

Nora Brede mit einem Sedimentkern auf dem Greifensee. Dank der gut erkennbaren Jahresschichtung lassen sich Einlagerungen im Sediment genau datieren.

Irreversible Folgen

Spannend ist dieses biologische Archiv vor allem deshalb, weil sich die Verhältnisse in den Seen seit 1960 massiv verändert haben. In den 1970/80er-Jahren kam es durch phosphathaltige Waschmittel und die Düngung der Felder zu einem starken Nährstoffüberfluss.

Die Algen, darunter auch toxische Cyanobakterien (Blaualgen), vermehrten sich rapide. Sauerstoffarmut führte mehrmals zu grösseren Fischsterben. Jetzt zeigen die Forscher mit Erbgutanalysen der Wasserfloheier, dass sich die Überdüngung auch auf die genetische Vielfalt ausgewirkt hat. Anfang des 20. Jahrhunderts kam im Greifen- und im Bodensee nur eine Wasserflohart nennenswert vor *(Daphnia hyalina)*. Sie wurde im Lauf der Überdüngung von einer zweiten Art *(Daphnia galeata)* verdrängt. In den Übergangszeiten vor und nach dem Maximum der Nährstoffeinträge bildeten sich auch Mischformen (Hybriden).

Die ursprüngliche Art hat sich aber bis heute nicht mehr zurückentwickelt, obwohl die Seen dank der grossen Anstrengungen in der Siedlungswasserwirtschaft wieder viel sauberer geworden sind.

Schnelle Evolution

«Das beweist, dass anthropogene Veränderungen, wie die Überdüngung, eine massive und nicht wieder voll umkehrbare Auswirkung auf Tierarten haben können», erläuterte Nora Brede. Zudem belege das Forschungsprojekt, mit welcher hohen Geschwindigkeit Evolutionsprozesse im Tierreich ablaufen können: «In lediglich 50 Jahren hat sich die Genomstruktur einer Art messbar verändert», sagt Brede, «das ist erstaunlich, denn dieser Zeitraum ist im Vergleich zur Skala der Erdgeschichte extrem kurz.»

Besser an höhere Bleikonzentrationen angepasst

Biologische Archive wie die Dauereier der Wasserflöhe im Seesediment sind eine wertvolle Hilfe, um die Reaktion von Organismen auf Veränderungen ihrer Umwelt zu erforschen und Abläufe der Evolution zu analysieren. Im Zentrum steht insbesondere die Frage, wie schnell sich Pflanzen und Tiere genetisch an veränderte Temperaturen anpassen, die mit dem globalen Klimawandel einhergehen. Auch die Toleranz gegenüber Schadstoffen verändert sich: Aus 30-jährigen Dauereiern aufgezogene Daphnien überlebten im Versuch deutlich länger in hohen Bleikonzentrationen als ihre heutigen Nachkommen. Sie waren offensichtlich besser angepasst an die damaligen Verhältnisse, als noch mehr Blei in die Umwelt gelangte. Mit dem rückläufigen Einsatz und dem Verbot von verbleitem Benzin (2000) sind die Bleikonzentrationen stark zurückgegangen. ○○○

Kontakt:
Nora Brede, nora.brede@eawag.ch

Rechnen statt Flüsse einfärben

Wenn Flüsse revitalisiert werden, kann das Konsequenzen haben auf flussnahe Grundwasserfassungen. Das Projekt Record untersucht, wie der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser die Wasserqualität beeinflusst. Als Alternative zu aufwändigen Markierversuchen wurden mit Erfolg Zeitreihenanalysen von einfach messbaren Grössen eingesetzt.

Wird einem kanalisierten Fluss mehr Freiraum zugestanden, hat das Einfluss auf die Wasserqualität. Unter anderem

- erhöht die neue Dynamik von Kiesinseln und -bänken den Wasseraustausch zwischen Fluss und Flussbett, das Flusswasser wird besser filtriert, die Selbstreinigungskraft des Flusses steigt;
- verändert sich die Durchlässigkeit der Flusssohle und damit der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser;
- verbreitert der Fluss sein Bett oder pendelt näher an Grundwasserfassungen heran, die Fliesswege zwischen Fluss und Pumpwerk können sich verkürzen.

Aus Sicht des Trinkwasserschutzes interessiert vor allem, welcher Anteil des geförderten Wassers aus dem Fluss stammt und wie lange dieses als Grundwasser unterwegs war. Ist die Reise zu kurz, gilt die nötige Reinigung nicht mehr als gesichert. Um diese Fragen zu beantworten, hat man bisher Markierversuche durchgeführt. Flusswasser wurde – bei grösseren Gewässern mit erheblichen Stoffmengen – eingefärbt oder mit anderen Mitteln markiert. Die Zeit, bis das markierte Wasser im Pumpwerk ankommt, und die Verdünnung geben dann die gewünschten Auskünfte.

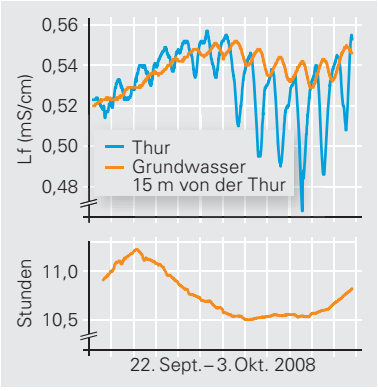
«Online» mit dem Fluss

Die Eawag hat nun Alternativen entwickelt, wie aus langen Datenreihen von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit des Wassers dieselben Informationen berechnet werden können. Das ist billiger und hat den Vorteil, dass keine Markierstoffe in die Umwelt gebracht werden müssen. Überdies sind die Ergebnisse nicht nur Momentaufnahmen wie bei Markierversuchen. Im Rahmen des Projekts Record wurden dazu an der Thur sowohl im Fluss als auch im Grundwasser eine ganze Reihe von zum Teil eigens entwickelten Sensoren installiert. Diese erfassen an einem revitalisierten und einem noch kanalisierten Flussabschnitt in kurzen Zeitabständen Messwerte und übermitteln sie drahtlos für die Auswertung.

Tagesgang als Zeigersignal

Interessant ist, dass die elektrische Leitfähigkeit des Thurwassers nicht nur die bekannte saisonale Schwankung aufgrund der Schneeschmelze zeigt, sondern auch einen ausgeprägten Tagesgang. Maximale Werte wurden am Morgen gemessen, minimale am späteren Nachmittag, was mit den biogeochemischen Prozessen im Fluss erklärt werden kann. Dieses Muster kann damit für flussnahe Fassungen als natürliches «Zeigersignal» verwendet werden. Mathematische Umformungen bringen die Aufenthaltszeiten zu Tage und zeigen, dass der Austausch zwischen Fluss- und Grundwasser nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich variiert. Bei hohem Wasserstand wurden die kürzesten Aufenthaltszeiten festgestellt. Ausserdem wird das Leitfähigkeitssignal vom natürlichen Ufer des revitalisierten Bereichs schneller ans Grundwasser weitergegeben als im kanalisierten Abschnitt mit verbauten Ufern. Ein einheitliches Muster, um damit die lokalen Prozesse zwischen Abdichten und Aufreissen des Flussbetts, beziehungsweise zwischen reduziertem und erhöhtem Wasseraustausch erklären zu können, ist allerdings bisher nicht belegt.

Im Fall des untersuchten Pumpwerks bei Niederneunforn hat sich ergeben, dass rund 40 % des geförderten Wassers frisches Thur-Infiltrat ist, das im Mittel 11 Tage im Untergrund unterwegs war. Dazu Mario Schirmer, Projektleiter von Record: «Bewegt sich die Aufenthaltszeit des Flussinfiltrats nur im Bereich von Tagen, muss die Revitalisierung von Abschnitten in der Nähe von Grundwasserfassungen gut überlegt sein. Aber auch die Verlegung eines Pumpwerks darf kein Tabu sein.» ○ ○ ○



Aus der täglichen Variation der elektrischen Leitfähigkeit (Lf) in der Thur und im Grundwasser (oben) kann die sich ändernde Fliesszeit des flussnahen Grundwassers berechnet werden (unten).

Das Projekt Record

Der Projektname Record ist eine Abkürzung aus «Restored Corridor Dynamics», der neuen Dynamik, welche die Revitalisierung eines Flusslaufs ermöglicht. Untersucht werden in Record sowohl die ökologischen als auch die hydrologischen Folgen von flussbaulichen Aufwertungsmassnahmen. Die Erkenntnisse zu den ablaufenden Prozessen sollen die Diskussion über den Erfolg von Revitalisierungen versachlichen und via gut abgestützte Modelle auch Vorhersagen erlauben. Record läuft von 2007 bis 2011 und ist ein Gemeinschaftsprojekt der Eawag, der WSL sowie der beiden ETH in Zürich und Lausanne im Rahmen des Kompetenzzentrums für Umwelt und Nachhaltigkeit des ETH-Bereichs (CCES). Record ist seinerseits Teil von «Swiss Experiment», einem breit angelegten Umweltmonitoring zur Früherkennung von Naturgefahren.

www.cces.ethz.ch/projects/nature/Record
www.swiss-experiment.ch

Kontakt:

Prof. Dr. Mario Schirmer, Projektleiter Record, mario.schirmer@eawag.ch

Tobias Vogt, Zeitreihenanalysen, tobias.vogt@eawag.ch

Gletscher gehen, die Spezialisten auch

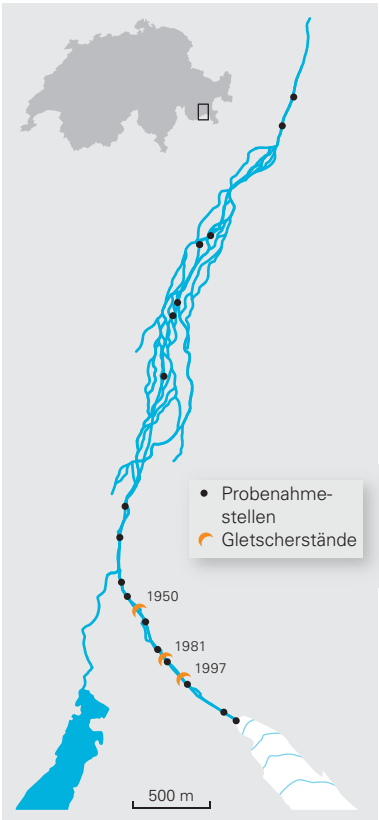
Wo sich die Gletscher zurückziehen, hinterlassen sie eine unwegsame Gerölllandschaft. Innert kurzer Zeit besiedeln jedoch kälteangepasste Organismen die freigelegten Gletscherbäche. Forscher der Abteilung für Gewässerökologie untersuchen, ob sich die Spezialisten ihrer unsteten Umwelt anpassen können oder ob am Ende die Generalisten überhandnehmen.

Je wärmer das Klima wird, desto weiter ziehen sich die Schweizer Gletscher zurück – derzeit in den Schweizer Alpen im Mittel zehn Meter im Jahr. Zurück bleiben scheinbar lebensfeindliche Gebiete, durch die sich der eiskalte Gletscherbach seinen Weg bahnt. Oft dauert es jedoch nur wenige Jahre, bis dieser so genannt proglaziale Flussabschnitt wieder von der alpinen Flora und Fauna besiedelt wird. Kälteangepasste Arten erobern die neuen Habitate und erweitern ihren Lebensraum. Weil jedoch wärmeangepasste Arten aus tiefer gelegenen Regionen ebenso nach oben drängen, verschieben sich ganze Lebensgemeinschaften sukzessive in immer höhere Lagen des Bachbetts.

Allerdings handelt es sich dabei nicht um blosse Kopien der ursprünglichen Gemeinschaften: Da die wärmeren Temperaturen eine ganze Reihe physikalischer Umweltfaktoren beeinflussen, etwa den Feuchtehaushalt oder die Bodenbildung, kommt es zu immer neuen Wechselwirkungen zwischen den Lebensgemeinschaften und ihrem Lebensraum. Um diesen Prozessen auf die Spur zu kommen, nahm ein Team der Eawag-Abteilung für Gewässerökologie den Gletscherbach unterhalb des Tschiervagletschers genauer unter die Lupe. Letzterer entspringt auf über 3000 Meter im Val Roseg, oberhalb von Pontresina (Kanton Graubünden). Debra Finn, Katja Raesaenen und Gruppenleiter Christopher Robinson verglichen aktuelle physikalische und biologische Daten aus den Jahren 2007 und 2008 mit Daten, die 1997 im selben Gebiet erhoben worden waren.

Organismen reagieren rasch

In den gut zehn Jahren hat sich der Tschiervagletscher um 480 m zurückgezogen. Wie die Forscher erwartet hatten, ist auch die Wassertemperatur deutlich angestiegen: 1997 betrug die höchste gemessene Temperatur 4,7 °C, 2007/08 waren es 6,6 °C. «Die Organismen haben erstaunlich schnell auf ihre veränderte Umwelt reagiert», kommentiert Christopher Robinson. Die Gemeinschaft ist nicht nur flussaufwärts gewandert, sondern hat sich auch verändert: Unter den 21 Insektenarten, der lokal vorherrschenden Tierklasse, fanden die Wissenschafter vier neue, zuvor nicht nachgewiesene Arten. Diese stammten aus tiefer gelegenen Habitaten und sind eher Generalisten. Sie fühlen sich also in verschiedenen Lebensräumen wohl. Noch 1997 waren sie vermutlich von den kälteanDaten: swisstopo/JA082266



Das Untersuchungsgebiet am Rosegbach unterhalb des Tschiervagletschers mit den Probenahmestellen sowie früheren Ständen der Gletscherzunge.

Temperatur ist entscheidend

Links die Larve der Eintagsfliege *Baetis alpinus*. Sie ist ein typischer Kaltwasserspezialist, der sich auch über 2000 m ü. M. und bei Wassertemperaturen unter 4 °C noch wohl fühlt. Rechts die Eintagsfliege *Ecdyonurus sp.* Als Generalist ist sie in fast allen Fliessgewässern anzutreffen, lebt in der Regel aber deutlich unter 2000 m ü. M. Im Val Roseg fanden sie die Eawag-Forscher 2008 bereits bis auf 2200 m ü. M. im Hauptgerinne des Gletscherbachs. Beide Larven ernähren sich von denselben feinen Algenüberzügen auf Steinen (Periphyton). Gewässerökologe Chris Robinson rechnet daher damit, dass Ecdyonurus sich schon bald noch weiter bachaufwärts verbreitet. Denn anders als noch 1997 messen die Forschenden heute bereits eineinhalb Kilometer unterhalb des Gletschertors – in der breiten Schwemmebene zwischen 2000 und 2100 m ü. M. – Wassertemperaturen von 4 °C und mehr. 1997 stieg die Wassertemperatur auch fünf Kilometer weiter talabwärts nie über diesen Grenzwert.

euroflyangler.com

ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv

Jürg Alean

Der Rückgang des Tschiervagletschers, links ca. 1875, rechts 2004.

gepassten Arten verdrängt worden, doch zehn Jahre später geschieht das Gegenteil: Die hoch spezialisierten Arten können sich nicht schnell genug an die rasch wechselnden Umweltbedingungen anpassen und müssen zunehmend den weniger anspruchsvollen Generalisten weichen. «Diese Entwicklung ist typisch für ein Ökosystem, das aus dem Gleichgewicht gerät», so Robinson. In der Folge erhöhen die zugewanderten Arten zwar zunächst die lokale Biodiversität – vergleicht man aber die verschiedenen Lebensräume, gleichen sich diese immer mehr. «Die hoch spezialisierten Arten retten sich in die Höhe – aber irgendeinmal gehts dort auch nicht mehr weiter», sagt Robinson. Langfristig werde die genetische Vielfalt und damit auch die Biodiversität abnehmen, ist seine Prognose.

Leben im Fluss ist im Fluss

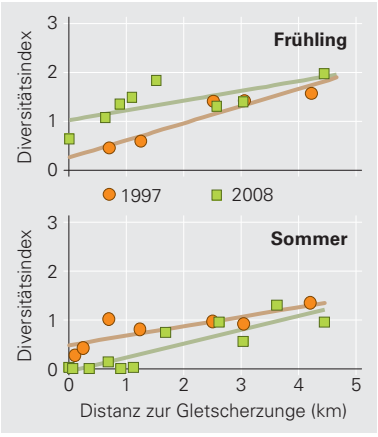
Um die physikalischen Veränderungen im Gletscherbach zu untersuchen, verglichen Robinson und sein Team hydrologische Daten der Jahre 1955 bis 2007. Daraus ging hervor, dass die Abflussmenge zwischen Frühling/Sommer und Herbst/Winter über die Jahre hinweg immer stärker variierte. Einerseits verschoben sich die Niederschläge vom Winter in den Frühling, andrerseits setzt die Schneeschmelze immer früher im Jahr ein. Das veränderte hydrologische Regime im Gletscherbach beeinflusst die Lebenszyklen der einzelnen Arten sowie die Artzusammensetzung – je nachdem, wer sich anpassen kann und wer nicht. Im Frühling 2008 war beispielsweise die Biodiversität gegenüber 1997 erhöht: Die Forscher erklären dies dadurch, dass im Winter vermutlich mehr Larven überlebten als früher. Umgekehrt wurde der Sommer zu einer stressigen Zeit, da der Abfluss regelmässig höher und damit auch deutlich turbulenter war als noch vor wenigen Jahren. Die Folge davon: Die Biodiversität war im Sommer 2008 geringer als im Sommer 1997.

Alpen auf dem Trockenen?

Ziehen sich die Gletscher zurück, reichen die Auswirkungen noch weit über die alpinen Lebensräume hinaus: Die veränderten Niederschlagsmuster und rückläufigen Winterniederschläge beeinflussen all jene Gebiete, die vom Wasserreservoir in den Bergen abhängen. Denn mit den Gletschern geht auch das Wasser. Schon heute gibt es Alpen und Berghütten, welche ihre Wasserversorgung umplanen müssen, weil das früher den ganzen Sommer über sprudelnde Schmelzwasser versiegt, wenn die Schneeschmelze vorbei ist. Christopher Robinson rechnet für die nächsten 100 bis 200 Jahre damit, dass sich die Gletscher weltweit nur noch in Höhen über 3000 m ü. M. werden halten können. Zum Vergleich: Noch 1870, auf ihrem letzten Höchststand, reichten die Zungen einzelner Schweizer Gletscher bis auf unter 1700 m hinab.

Die Spezialisten weichen in die Höhe aus. Aber irgendwann ist Schluss.

Die Verschiebung der Lebensräume bergaufwärts beschränkt sich nicht auf den Alpenraum. Die Forschungsgruppe um Robinson ist daher dabei, ihre Forschungen auf Nordamerika und die Anden auszudehnen, um Vergleiche zwischen den Gebirgen der Erde anstellen zu können.

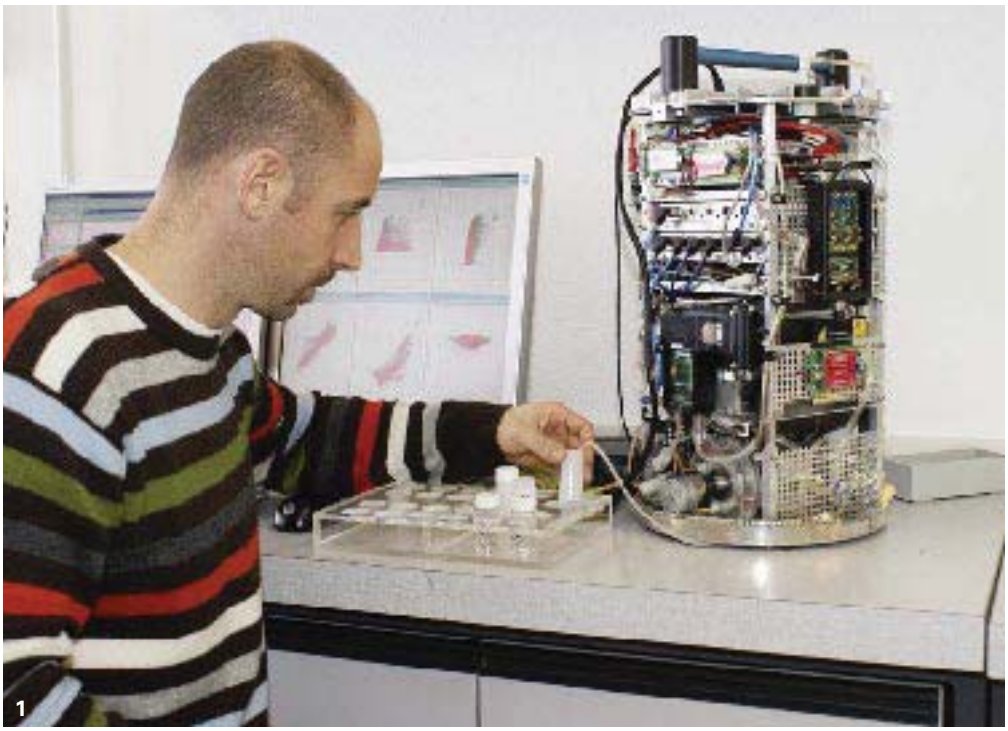


Veränderung der Biodiversität (Shannon-Index) im Rosegbach zwischen 1997 ● und 2008 ■ im Frühling und im Sommer in Abhängigkeit zur Distanz von der Gletscherzunge.

Kontakt:
Dr. Christopher Robinson, christopher.robinson@eawag.ch
Dr. Katja Raesaenen, katja.raesaenen@eawag.ch

Geschärfter Blick in den See

Seen sind nicht nur wertvolle Ökosysteme, sie sind auch bedeutende Reservoire für Trinkwasser. Doch Klimaänderung, Verschmutzungen oder wasserwirtschaftliche Eingriffe in ihren Einzugsgebieten setzen ihnen weltweit zu. Wo überhaupt Daten zu diesem Prozess vorhanden sind, sind es nur Momentaufnahmen. Sie können weder eine Erklärung für die Vorgänge liefern, noch für Prognosen genutzt werden. Das Projekt «AquaProbe» mit einer schwimmenden Online-Messplattform will das ändern.


1

2

6

[1] Limnobiologe Francesco Pomati im Labor an Tests mit dem Kernstück der Planktonplattform, dem automatischen Durchflusszytometer. Am Monitor zeigen die ersten Auswertungen die Zuordnung der gezählten Zellen zu verschiedenen Algenklassen.

[2] Das sensible Gerät wird in ein stossdämpfendes Gehäuse montiert.

[3, 4] Kaum etwas ausser den Schwimmkörpern war einfach ab Stange zu kaufen. Hier zwei Eigenkonstruktionen aus der Eawag-Werkstatt: oben die Umlenkung, die das Kabel ab der Winde zur Messsonde führt; unten die Probenahmekammer, die als «Zwischenstation» für hinaufgepumptes Seewasser dient vor der Prüfung einer kleinsten Menge im Durchflusszytometer.

[5] Das Floss in der Testphase auf dem Vierwaldstättersee. Hinten der Pilatus. Die Daten werden laufend per Mobilfunknetz an die Eawag in Kastanienbaum übertragen.

[6] Francesco Pomati lässt die Sonde am roten Kabel ins Seewasser gleiten. Durch den blauen Schlauch werden aus vordefinierten Tiefen Proben an das Durchflusszytometer auf der Plattform geschickt.

[7] Verlad der Plattform im Hafen von Luzern für den Transport zum Luganersee.

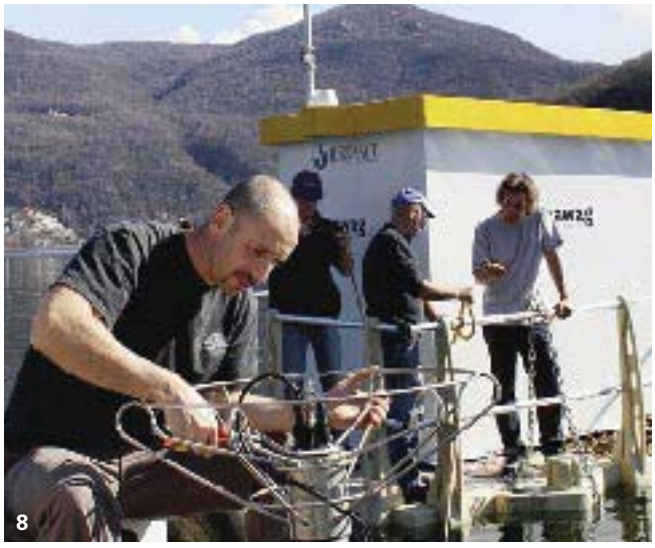
[8] Mitarbeitende der Eawag und der Tessiner Fachhochschule (Supsi) bereiten zusammen die Instrumente vor, mit denen die Plattform 2010 in der Nähe von Caslano Daten aus dem Luganersee sammelt.

3

5

4

7


8

Zusammenarbeit unter sechs Abteilungen

Im Projekt «AquaProbe» arbeiten nebst externen Partnern sechs Abteilungen der Eawag mit. Diese Breite ist Programm. Einbezogen werden unter anderem Gewässerökologinnen und -ökologen, Trinkwasserfachleute, Mikrobiologen, Evolutionsforscher und Modellier-Experten. Das ehrgeizige Vorhaben will mehr in Erfahrung bringen über die kurz- und langfristigen Veränderungen von Plankton. Die Ergebnisse sollen für das Verständnis der Prozesse im See, für Vorhersagen und – wo nötig – auch für das Aufzeigen möglicher Massnahmen genutzt werden.

Phytoplankton ist die Basis der Futterpyramide in jedem See. Ändert sich seine Zusammensetzung, hat dies auf alles andere Leben im See Einfluss. Bis heute ist aber unklar, ob die Planktonzusammensetzung einfach eine zufällige Auswahl aus den regional vorkommenden Arten ist oder ob es steuernde Mechanismen gibt. «Algenblüten», unter anderem auch von toxischen Blaualgen, können innert weniger Stunden zu neuen Verhältnissen führen. Daher muss die zeitlich und räumlich möglichst exakte Erfassung des Planktons auch die Basis der Forschungspyramide sein. Entsprechend hoch aufgelöste Daten fehlen jedoch. «Typische Monitoringprogramme zum Plankton stützen sich auf monatliche Proben, meist nur von einer Stelle und aus einer Tiefe des Sees», sagt Projektleiter Jukka Jokela. «Verglichen mit dem Blick in einen Wald hiesse das, alle paar tausend Jahre einmal vorbeizuschauen und dann aus dem Vergleich zu schliessen, was in der Zwischenzeit passiert ist.»

Nun soll die schwimmende Messplattform diese Mängel beheben. In der Aluminiumkabine auf dem Floss ist ein eigens angepasstes Durchflusszytometer installiert. Dieses kann über einen langen Schlauch Tag und Nacht automatisch mit Proben aus verschiedenen Wassertiefen beschickt werden. Gesteuert wird die Probenahme über eine gleichzeitig abgesenkte Sonde, die seephysikalische Messwerte wie Druck, Temperatur oder Leitfähigkeit erfasst. Oben auf dem Floss zählt das Gerät nicht nur die Planktonzellen, sondern erfasst auch deren Formen und Farbspektren und schiesst sogar einzelne Fotos. Die per Mobilfunknetz übertragenen Daten können damit an Land exakt ausgewertet werden.

Urbane Wassersysteme

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

FORSCHEN

Bei den Menschen ansetzen

Hans Joachim Mosler hat zuerst Zoologie und dann Psychologie studiert. «Ich habe gemerkt, dass man bei den Menschen ansetzen muss, wenn man etwas verändern will», begründet der Titularprofessor seinen Wechsel. Als Therapeut oder Helfer sieht sich Mosler dennoch nicht. Seine Forschung bezieht sich immer auf viele Menschen, sein Spezialgebiet ist die Umweltpsychologie. Wie bringt man eine möglichst grosse Gruppe dazu, freiwillig Tempo 30 einzuhalten, war eine der ersten Fragen, mit denen er sich in diesem Bereich auseinandergesetzt hat. An der Eawag befassen er und sein Team sich vor allem mit Verhaltensänderungen von Menschen in Entwicklungsländern. Welche Massnahmen helfen, dass Hygieneregeln eingehalten oder die solare Wasserdesinfektion Sodis angewendet werden (Beitrag S. 24)? Sein Ansatz: Gute Sachen brauchen Verbreitungsmechanismen, und auf der ganzen Welt bestimmen immer wieder dieselben Faktoren das Verhalten. «Ich habe zum Beispiel noch nie eine Gesellschaft gesehen, in der sich die Leute nicht von den Menschen rundherum beeinflussen liessen und das soziale Prestige keine Rolle spielt», sagt er. Und was ist nun dem Wissenschafter wichtiger, dass ein Quartier in Afrika zu einer besseren Siedlungshygiene findet oder die Publikation der Befunde in einer renommierten Fachzeitschrift? «Das Tolle an unserer Forschung ist», schwärmt Mosler, «dass wir beides tun. Wir setzen Dinge um, aber wir forschen und lernen daraus, damit es andernorts noch besser gemacht werden kann.»

LEHREN

Selbstständiges Denken fördern

Eigentlich wollte er Windräder bauen und sich für alternative Energiequellen einsetzen. Doch das Studium der Umweltingenieurwissenschaft hat **Eberhard Morgenroth** letztlich in den Bereich der Siedlungswasserwirtschaft geführt. Aber auch hier kann er seinen Wunsch, etwas für die Umwelt und die Gesellschaft zu tun, umsetzen. Nach Studium und Dissertation in Deutschland und in den USA sowie langjähriger Berufstätigkeit an der Technischen Universität Dänemark in Lyngby und der Universität von Illinois in Urbana-Champaign ist Morgenroth seit August 2009 Leiter einer Eawag-Forschungsgruppe und Professor für Verfahrenstechnik in der Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich. In der Lehre ist ihm wichtig, die nötigen Grundlagen zu vermitteln, sodass die Studierenden darauf aufbauend zur Selbstständigkeit kommen. «Die Herausforderung ist, die Lehre so anzulegen, dass die Studentinnen und Studenten aktiv mitdenken und selbst Initiative ergreifen können», sagt Morgenroth. Die designierte Nachfolge von Willi Gujer, der Anfang 2011 in Pension geht und der mit seiner exzellenten Lehre mehrere Preise gewonnen hat, «gibt mir da schon einigen Ansporn», erklärt Eberhard Morgenroth, «und gleichzeitig profitiere ich davon, dass die Studierenden bisher schon auf hohem Niveau gefordert wurden und dem Fachgebiet sehr zugetan sind.»

BERATEN

Trinkwasser vor Sabotage schützen

Hans Peter Füchslin hat als Mikrobiologe an der Eawag eine Dissertation verfasst, heute arbeitet er an der Bachema AG, einem privaten Analyselabor, und hat einen Lehrauftrag an der ETH Zürich. Dank Unterstützung durch die Eawag konnten der Hauptmann der Schweizer Armee und weitere dienstpflichtige Wasserforscher ihr Wissen auch in militärischen Wiederholungskursen einsetzen. Sie haben sich intensiv mit möglichen Sabotageakten auf Trinkwasseranlagen befasst. Auslöser für diese Arbeiten war der bis heute ungeklärte Anschlag mit zwei Pestizidkanistern auf die Seewasserfassung vor dem deutschen Sipplingen. Der Fall von 2005 hatte zwar glücklicherweise keine Folgen auf die Wasserqualität. Doch er führte allen Verantwortlichen vor Augen, dass Trinkwasserversorgungen zu den verletzlichsten Infrastrukturen gehören, versorgt doch das Bodenseewerk über vier Millionen Menschen. Füchslins Projektgruppe hat als gemeinsames Werk von Armee, Eawag und dem Schweizerischen Verband der Gas- und Wasserfachleute (SVGW) ein Regelwerk zur Sabotagevorsorge erarbeitet. Es befindet sich zurzeit in der Vernehmlassung und soll noch diesen Sommer verabschiedet werden. Darin enthalten ist eine Checkliste mit 45 Punkten. Sie reicht vom einfachen Rat, den Zugang zu Wasserversorgungsanlagen zu verhindern, über Hinweise, wie Anschläge auf die Wasserqualität erkannt werden und wie im Krisenfall informiert werden soll, bis zu technischen Massnahmen im Verteilnetz.

self

Effizientes Recycling einer knappen Ressource

In vielen Regionen der Erde ist der fehlende Zugang zu sauberem Wasser eines der grössten Gesundheitsprobleme. Mit ihrer Forschung zur dezentralen Aufbereitung von belastetem Wasser kann die Eawag einen Beitrag zur Erreichung der Millenniums-Entwicklungsziele leisten. Labor- und Pilotversuche zeigen, dass Membranverfahren auch unter einfachsten Verhältnissen die Gewinnung von hygienisch einwandfreiem Trinkwasser ermöglichen.

Ein temporärer Wohn- und Arbeitsort für zwei Personen, der ohne externe Energie- und Wasserversorgung auskommt – dies ist das Konzept der Raumzelle «Self», die seit Februar 2010 erprobt wird. Die beiden Forschungsinstitute Empa und Eawag haben ihr technisches Know-how zur Entwicklung des besonderen Wohnmobils eingebracht, die Zürcher Hochschule der Künste das Design. Der Pavillon hat die Grösse eines Schifffrachtcontainers, wiegt rund 5 Tonnen und lässt sich damit per Lastwagen oder Helikopter praktisch an jeden beliebigen Ort transportieren. An Ostern 2010 ist er abgebrannt, doch die Projektleitung will einen zweiten Container ausrüsten, der ursprünglich als Erweiterungsmodul gedacht war.

Self braucht keinen Stromanschluss, sondern verfügt über ein eigenes Kraftwerk. 1280 Solarzellen auf dem Dach mit einer maximalen Leistung von 3750 Watt versorgen die zum Beispiel als mobile Forschungsstation nutzbare Box ganzjährig mit der benötigten Elektrizität.

Autonome Wasserversorgung

So autonom wie die Energieversorgung von Self funktionieren auch die von der Eawag konzipierten Technologien für die Aufbereitung des Trinkwassers und das Recycling des grössten Teils des Abwassers. Zuerst wird auf der gut 26 m^2 grossen Dachfläche das Regenwasser gesammelt. «Das Niederschlagswasser ist zwar relativ sauber, kann aber je nach Standort Verunreinigungen zum Beispiel durch Vogelkot, Blätter oder Blütenstaub enthalten», erklärt Maryna Peter-Varbanets von der Abteilung Verfahrenstechnik. Um diesen Schmutz sowie Bakterien und Viren zu entfernen, ist der Wohncontainer mit einem Membranmodul von der Grösse einer Schuhschachtel ausgestattet. Die auf einer Filterfläche von 0,7 m^2 verteilten Poren dieser Kunststoffmembrane messen nur Bruchteile von Mikrometern. Während das Wasser und gelöste Mineralstoffe die mechanische Reinigungsstufe passieren, werden Trübstoffe, Keime, Parasiten und so-

Der unabhängige Wohncontainer Self – hier am Sihlsee – ist ein Forschungs- und Demonstrationsprojekt. Im Bereich Wasser soll er zeigen, wie die einfache Aufbereitung von Regenwasser zu Trinkwasser und das Recycling von Brauchwasser machbar sind. Dezentrale Systeme könnten damit eine Alternative werden zu kostenintensiver und an vielen Orten auf der Welt gar nicht machbarer zentraler Infrastruktur. Unten: Kanalisationssanierung. Fotos: Empa, Beat Guyer; Entsorgung + Recycling Zürich

gar Viren zurückgehalten. Die Ultrafiltration hat damit gleichzeitig die Funktion einer Desinfektion, ohne dass chemische Hilfsmittel wie Chlor oder Ozon nötig wären.

Die Schwerkraft reicht aus

Grosstechnische Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung mit Ultrafiltration, wie sie in zentralen Wasserwerken immer häufiger zur Anwendung kommen, funktionieren in der Regel mit Pumpen. Sie sorgen für einen höheren Druck, der das Rohwasser durch die Membranporen presst, damit die Systeme genügend Wasser reinigen können – in der Regel 20–100 l/m^2 Membranfläche und Stunde.

Im Interesse einer hohen Betriebssicherheit und eines möglichst geringen Wartungsaufwands kommt Self ohne Pumpe aus und nutzt lediglich die Schwerkraft. Der Druck von 100 mbar aus der Höhendifferenz von rund einem Meter zwischen Dach und Membrane reicht aus, um den täglichen Bedarf von gut 30 Litern hygienisch einwandfreiem Trinkwasser aufzubereiten. Im Wohnraum zeigt ein Display am 200-Liter-Tank den Bewohnern laufend an, wie viel Frischwasser sie verbrauchen. Die im Vergleich zum normalen Trinkwasserverbrauch in Haushalten relativ bescheidene Menge genügt, weil für Anwendungen wie Körperpflege, Geschirrwaschen und Toilettenspülung zusätzlich noch aufbereitetes Brauchwasser zur Verfügung steht.

Funktionsweise des Niederdruck-Verfahrens

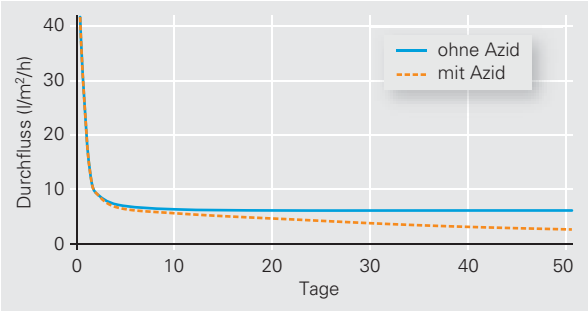
Das von der Eawag entwickelte System der Wasserreinigung mithilfe des Niederdruck-Verfahrens nimmt eine geringe Filtrationsleistung des Membranmoduls bewusst in Kauf. Wie Labor- und Pilotversuche zeigen, bleibt die Durchlässigkeit der Membrane nämlich auch ohne Spülung mit Reinigungschemikalien über lange Zeit erhalten. Zwar ist der Durchfluss während der ersten Betriebstage deutlich rückläufig, weil sich durch die Filtration der Wasserinhaltsstoffe nach und nach eine Deckschicht auf der Membrane bildet. Trotz höherem Widerstand führt dieser Prozess jedoch nicht zur Bildung eines undurchlässigen Belags. Vielmehr stabilisiert sich der Durchfluss nach einigen Tagen und bleibt danach auf einem konstanten Niveau. Laut Wouter Pronk, Leiter der Gruppe für Trinkwasseraufbereitung, bestätigen Lasermikroskopiebilder, dass durch biologische Aktivität Hohlräume im Belag entstehen, die sich zu Kanälen verbinden. Dadurch wird die Deckschicht porös und es stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Ablagerung von organischem Material auf der Membrane und dessen biologischem Abbau ein, was auch den Durchfluss stabilisiert. Wird das Rohwasser hingegen vor der Ultrafiltration mit Chemikalien wie Natriumazid desinfiziert, so nimmt die Durchlässigkeit einer Membrane während der gesamten Laufzeit kontinuierlich ab, weil das Desinfektionsmittel auch die erwünschte mikrobiologische Aktivität in der Deckschicht hemmt.

Die Leistungsfähigkeit einer mit Niederdruck betriebenen Membrane hängt entscheidend von der Schmutzfracht des filtrierten Rohwassers sowie von der Zusammensetzung des natürlichen organischen Materials ab: Je sauberer das Ausgangsprodukt, desto grösser ist auch der Durchfluss. So können bei einer Membranfläche von 1 m^2 aus Flusswasser, das zuvor einen Sandfilter passiert hat, pro Stunde etwa 14 Liter Trinkwasser gewonnen werden. Setzt man jedoch verdünntes Abwasser ein, sinkt die langfristige Filtrationsleistung auf 3 Liter.

Vielfältige Vorteile für Entwicklungsländer

Aufgrund ihrer Einfachheit eignet sich die Niederdruck-Ultrafiltration insbesondere für die dezentrale Wasseraufbereitung in Entwicklungsländern. Weltweit haben mehr als 900 Millionen Menschen noch immer keinen Zugang zu hygienisch einwandfreiem Trinkwasser, was

Links: Montage der Kleinkläranlage über dem Brauchwasserspeicher im engen Technikraum des Wohncontainers Self. Mitte: Membranmodul für die Trinkwasseraufbereitung aus Dach- bzw. Regenwasser. Rechts: Membranmodul für das Grauwasserrecycling.



Durchfluss bei der Membranfiltration von Flusswasser ohne und mit vorgängiger Desinfektion mit Natriumazid.

ihre Gesundheit und Produktivität stark beeinträchtigt. Dank stark gesunkener Kosten für die Membranen lassen sich dezentrale Systeme der Wasseraufbereitung für einzelne Haushalte oder Kleinsiedlungen inzwischen für rund 1 Euro pro Person und Jahr realisieren. Für das Niederdruck-Verfahren spricht zudem, dass es ohne Fremdenergie und Chemikalien auskommt, kaum Wartung oder Unterhalt erfordert und trotz der unkomplizierten Bedienung relativ sicher ist. «Störungen wie eine nach längerer Zeit mögliche Verstopfung der Membrane bewirken nämlich keinen Durchbruch von Krankheitskeimen, sondern nur eine abnehmende Filterleistung», hält Wouter Pronk fest.

Im Rahmen des 2006 gestarteten europäischen Forschungsprojekts «Techneau» hat die Eawag nicht nur Grundlagenforschung betrieben, sondern gemeinsam mit den Industriepartnern KWB und Opalium (Veolia-Konzern) auch eine Pilotanlage gebaut. Die auf der Fläche eines halben Frachtcontainers installierte Niederdruck-Ultrafiltration verfügt über eine vorgeschaltete biologische Sandfiltration und kann täglich etwa 5000 Liter Trinkwasser aufbereiten. Nach einer erfolgreichen Testphase in Frankreich mit Flusswasser aus der Marne wird die Anlage nun seit Ende 2009 im südafrikanischen Dorf Ogunjini nahe bei Durban erprobt. «Hier interessiert uns vor allem, wie sich die bisweilen starke Trübung des Rohwassers auf die Membranfiltration auswirkt», sagt Maryna Peter-Varbanets.

Dezentrale Aufbereitung des Abwassers

In Trockenregionen, wo das Wasser eine knappe Ressource ist, oder an abgelegenen Standorten ohne Anschluss an Ver- und Entsorgungssysteme – wie zum Beispiel im Hochgebirge – kann sich auch die dezentrale Aufbereitung des Abwassers lohnen. Die Raumzelle Self verfügt daher über eine Kleinstkläranlage in Form eines Membranbioreaktors, der ebenfalls nur mit Schwerkraft betrieben wird. Die Anlage von der Grösse einer Waschmaschine reinigt das in Küche und Dusche anfallende Grauwasser, nicht aber das stärker verschmutzte Schwarzwasser aus der Wasser sparenden Toilette. Dieses wird in einem separaten Tank gesammelt und dem Kreislauf periodisch entzogen. Durch das Recycling des Grauwassers, das man nach der Aufbereitung wieder zum Duschen, Abwaschen und für die Toilettenspülung verwenden kann, stehen im Wohncontainer nach Berechnungen der Eawag täglich gut 100 Liter Wasser zur Verfügung. Damit können zwei Personen ohne Komforteinbusse in der Raumzelle leben; bei ausbleibenden Regenfällen immerhin rund zwei Wochen, bis ihnen das Frischwasser ausgeht. Um bei längeren Standzeiten eine Wiederverkeimung zu verhindern, wird das aufbereitete Trink- und Brauchwasser in den beiden 200-Liter-Tanks periodisch mit einer UV-Lampe bestrahlt.

Die dezentrale Trinkwasseraufbereitung mit Membranen ist dank gesunkener Kosten attraktiv geworden.

Wie gut sich das Verfahren der Grauwasseraufbereitung bewährt, werden die Praxistests zeigen. «Bei normalen Kläranlagen funktioniert die Abwasserreinigung über die Membranfiltration inzwischen relativ problemlos», sagt Mikrobiologe Adriano Joss. «Die Frage ist, ob der biologische Abbau von Kohlenstoff im Projekt Self auch bei einem geringeren Nährstoffangebot ausreichend funktioniert. Denn im Grauwasser fehlen die in Kot und Urin reichlich vorhandenen Nährstoffe, von denen die Mikroorganismen leben.» Schlimmstenfalls könnte sich ein klebriger Schleim bilden, der allmählich die Poren der Membrane verstopft.

Das Konzept einer mehrfachen Verwendung von gereinigtem Abwasser bleibt aber so oder so zukunftsträchtig. Im internationalen Forschungsprojekt «Reclaim Water» zum Beispiel wurden Technologien untersucht, wie Abwasser so aufbereitet werden kann, dass es sich für die Grundwasseranreicherung eignet. Hauptziele sind die Überwachung und die Reduktion der Risiken von Krankheitserregern und Mikroverunreinigungen im gereinigten Abwasser. Die Eawag erforscht dabei die Wirkungsweise einer Kombination aus Membrananlage und Nanofiltration im Pilotmassstab. ○ ○ ○

EU-Projekt «Technology Enabled Universal Access to Safe Water»: www.techneau.org

EU-Projekt: «Water Reclamation Technologies for Safe Artificial Groundwater Recharge»: www.reclaim-water.org

Kontakt:

Trinkwasseraufbereitung:
Dr. Wouter Pronk, wouter.pronk@eawag.ch

Grauwasserrecycling:
Dr. Adriano Joss, adriano.joss@eawag.ch

Regen messen mit Mobilfunkantennen

Weil Regen das Mobilfunknetz stört, können Eawag-Forscher aufgrund von Daten des Telekomunternehmens Orange Regenfälle messen. Die neue Methode ist räumlich deutlich exakter als die traditionelle Regenmessung mit einzelnen Regensammlern. Kombiniert mit intelligenten Steuerungen im Kanalisationssystem soll sie künftig den Gewässerschutz in Siedlungsgebieten verbessern.

Unerwartete Regenfälle überlasten vor allem in dicht besiedelten Gebieten häufig die Kanalisationen: Das Regenwasser mischt sich in den Abflusskanälen mit dem Siedlungsabwasser. Die braune Brühe überläuft aus Rückhaltebecken in angrenzende Gewässer. So gelangen auch Chemikalien – zum Beispiel aus Putzmitteln und Pestiziden – verdünnt, aber ungefiltert in Bäche, Flüsse und Seen. Über das ganze Jahr gesehen sind das zwar keine grossen Mengen; je nach Schadstoff gelangen nur rund 2–5% der Gesamtmenge via Regenentlastung ins Gewässer. Doch die kurzen Belastungsspitzen können Algen oder Fische schädigen. Eine präzise lokale Erfassung oder sogar Vorhersage von Regenfällen würde eine Steuerung der Kanalisationssysteme erlauben.

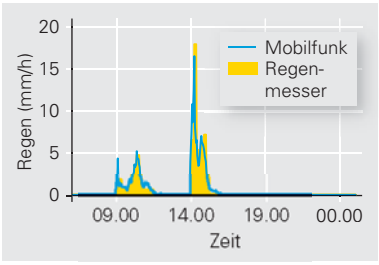
Höhere Treffsicherheit

Und so funktionierts: Was die Mobilfunkbetreiber ärgert – dass nämlich die Regentropfen die Richtfunkverbindung zwischen zwei Antennen und damit die Datenübertragung stören – machen sich Projektleiter Jörg Rieckermann und sein Team zunutze. Aus den Daten über die Abschwächung der Signalstärke berechnen die Forscher die Intensität der Regenfälle entlang der Verbindungslinie zwischen zwei Antennen. Dank des engmaschigen Mobilfunknetzes sind die Eawag-Regendaten räumlich und zeitlich besser aufgelöst als die Werte von Regenmessern oder Wetterradar. Statt von einem einzigen Punkt aus zu messen, stammen die Mobilfunkdaten von einem Netz vieler sich überschneidender Richtfunkverbindungen. Denn ein Gewitter kann noch so heftig sein – ist der Regenmesser auch nur hundert Meter vom kleinräumigen Ereignis entfernt, verpasst er dieses komplett. Ein Wetterradar kann zwar eine ganze Zone erfassen, Geländeechos beeinflussen jedoch das Signal und die Radarstrahlen werden bei intensiven Regenfällen stark abgeschwächt.

Richtstrahlantennen übertragen die Mobiltelefongespräche über die Dächer von Zürich.

Erstmals Daten aus der Schweiz

Regenmessungen via Mobilfunknetz sind nicht ganz neu, fanden aber bis jetzt keine praktische Anwendung. Mit den umfangreichen Daten, welche der Mobilfunkanbieter Orange der Eawag zur Verfügung stellte, wird es zum ersten Mal möglich, dieses System für den Gewässerschutz einzusetzen. Um die Methode auf ein rund 150 Quadratkilometer grosses Gebiet in der Region Zürich mit weit verzweigtem Kanalisationsnetz zu übertragen, analysierten die Eawag-Forscher die Daten von 23 Richtfunkverbindungen in dieser Region; nutzbar wären gegen hundert. Diese verglichen sie mit den Messwerten von 13 Regenmessern, zwei Tropfenspektrometern und dem Wetterradar von MeteoSchweiz auf dem Albis. So konnten sie ihr Modell eichen und können nun Niederschläge aus den Funksignalen rekonstruieren.



Die umgerechnete Dämpfung eines Richtfunksignals und die im Regenmesser gemessenen Regenintensitäten (in mm pro Stunde) stimmen sehr gut überein, jedoch nur, solange ein Regenmesser (zufällig) das Zentrum der Niederschläge erfasst.

Noch mehr Genauigkeit erhofft sich Rieckermann, wenn künftig auch die Tropfengrösse in die Berechnungen mit einbezogen wird: Wenige grosse Tropfen streuen und schwächen das Funksignal nämlich ähnlich wie viele kleine, bringen aber meistens weniger Regen. Daher entwickeln zur Zeit Projektpartner an der ETH Lausanne Methoden, welche diese Muster berücksichtigen.

Umsetzung mit Gemeinden

Das Vorhersagemodell wird nun in zwei interessierten Gemeinden auf die Praxistauglichkeit getestet. Mit den Prognosen von Stärke und Richtung der Regenfälle werden die Rückhaltebecken in gefährdeten Gebieten vor und während Regenereignissen so reguliert, dass vorsorglich Kapazitäten für die erwarteten Wassermassen vorhanden sind. Ziel ist, dass möglichst wenig Schmutzwasser überläuft. «So kann man vorhandene Reserven aktivieren, ohne das Kanalisationssystem neu bauen zu müssen», sagt Rieckermann. ○ ○ ○

Kontakt:
Dr. Jörg Rieckermann,
joerg.rieckermann@eawag.ch

Silbernanopartikel: Effiziente Kläranlagen

Immer mehr Produkte enthalten Silbernanopartikel, und mit dem Abwasser gelangt ausgewaschenes Silber zur Kläranlage. Hemmt seine antimikrobielle Wirkung dort die biologische Reinigung? In den zu erwartenden Konzentrationen nicht, sagt nun eine neue Eawag-Studie. Ausserdem zeigen die Versuche, dass die Abwasserreinigung Nanosilber effizient eliminiert.

Der Einsatz von Nanosilber in Kosmetikprodukten, Farben, Kunststoffen, Desinfektionsmitteln und Textilien nimmt zu. Diese kleinsten Silberpartikel wirken antimikrobiell, wenn mit Feuchtigkeit Silberionen freigesetzt werden. Ausgewaschene Silberpartikel können aus Haushalten und industriellen Betrieben über das Abwasser auch zur Abwasserreinigungsanlage (ARA) gelangen. Ob sie dort die Leistung der biologischen Reinigung beeinflussen, war bisher unklar. Begleitet vom Bundesamt für Umwelt und vom Zürcher kantonalen Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft hat die Eawag daher das Verhalten und die Wirkung von Silber in der Abwasserreinigung untersucht.

Keine Reaktion bei realistischen Konzentrationen

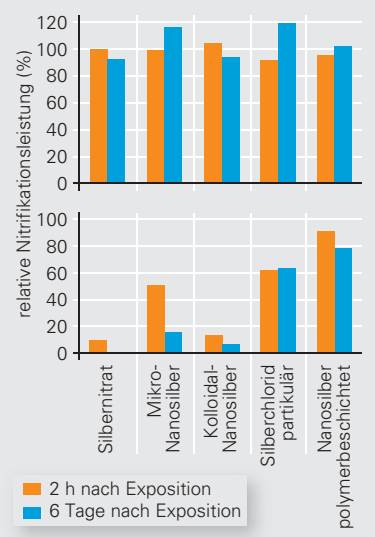
Unter die Lupe genommen haben die beiden Umweltingenieure Michael Burkhardt und Steffen Zuleeg den Einfluss des Silbers auf die Nitrifikationsleistung des Belebtschlamms. Denn die Ammonium abbauenden Mikroorganismen gelten als die heikelsten in der biologischen Reinigungsstufe. Weil zahlreiche Silberformen auf dem Markt sind, wurden nebst Silbernitrat verschiedene Produkte getestet – von «reinem» Nanosilber bis zu Nanosilber, das in grösseren Trägerpartikeln gebunden ist (Mikro-Nanosilber).

Im Zulaufabwasser wurden 2–6 µg/l Silber nachgewiesen. Im Fall der untersuchten ARA Kloten/Opfikon waren es in einem Teilzulauf bis zu 20 µg/l, weil dort ein Betrieb Silberpartikel einsetzt. Die Versuche wurden daher mit Silbermengen gemacht, die einer Zulaufkonzentration von 50 µg/l entsprechen, also rund eine Grössenordnung mehr, als real zu erwarten ist. Zum Vergleich wurde Belebtschlamm auch der hundertfach höheren Silberkonzentration ausgesetzt. Während im realitätsnahen Fall sowohl nach zwei Stunden als auch nach sechs Tagen kein Effekt auf den Ammoniumabbau nachgewiesen werden konnte, resultierten mit der stark erhöhten Konzentration signifikante Einbrüche beim Ammoniumabbau. Die hohe Fracht an Chlorid und Sulfiden im Abwasser bindet das freie Silber und macht es unschädlich für die Nitrifikanten. Mit der stark erhöhten Silberdosierung scheint das System hingegen überfordert.

Über 90 % im Klärschlamm

Sowohl in der Pilot-ARA der Eawag als auch in Kloten/Opfikon haben die Forscherinnen und Forscher untersucht, was mit den Silberpartikeln passiert. Die Resultate stimmen gut überein: Vom Silber, das über die Kanalisation die ARA erreicht, gelangen 93–99 % in den Klärschlamm und nur 1–7 % mit dem gereinigten Abwasser ins nächste Gewässer. Da der Klärschlamm in der Schweiz verbrannt wird, landet also der überwiegende Teil des Nanosilbers nicht in der Umwelt. Und auch der kleine Rest liesse sich wenn nötig verhältnismässig einfach zurückhalten, denn das Nanosilber liegt an Schlammflocken gebunden vor.

Nanosilber hat also in heute auftretenden Konzentrationen im Abwasser keine hemmende Wirkung auf die Nitrifikanten, und die Kläranlagen zeichnen sich durch eine sehr hohe Eliminationsleistung aus. Darüber hinaus kommt die ökotoxikologisch relevante Silberform, das freie ionische Silber, in den Kläranlagen und im gereinigten Abwasser nur in kaum messbaren Konzentrationen vor. Darauf deuten die Resultate aus den Hemmtests und erste Analysen der Silberpartikel im Ablaufwasser hin. Freie Silberionen reagieren danach zu Silberchlorid oder verbinden sich mit Schwefel, vermutlich zu unlöslichem Silbersulfid. ○○○



Der Einfluss verschiedener Silberformen auf die Nitrifikationsleistung im Belebtschlamm. Oben: realitätsnahe Zulaufkonzentration 50 µg/l; unten: 100-fach höhere Zulaufkonzentration. Abweichungen bis rund 20 % sind auf übliche Schwankungen in der Stabilität der Prozessbedingungen zurückzuführen.

Der «Nanolyzer»

Die Analyse von Nanopartikeln ist nicht einfach. Für die Überwachung von Produktionsprozessen, zum Beispiel bei der Aufbereitung von Seewasser zu Trinkwasser, kann es aber wichtig sein, besser Bescheid zu wissen über die Winzlinge. Im Partikellabor der Eawag wurde daher eine Detektiermethode weiterentwickelt, welche die Teilchen mit Laser beschiesst und zertrümmert. Die entstehenden Signale erlauben eine quantitative und qualitative Beschreibung der Partikel. Während die Eawag zusammen mit der ETH Zürich die Grundlagen zur Verbesserung dieser LIBD-Methode (für Laser-Induced Breakdown Detection) weiter erforscht, haben ein Chemiker und ein Materialwissenschafter 2009 die Spin-off-Firma «Nanolytix» gegründet und wollen nun den Prototypen ihres Nanolyzer genannten Geräts zur Marktreife bringen.

Kontakt:
Prof. Dr. Hansruedi Siegrist, hansruedi.siegrist@eawag.ch
Dr. Ralf Kägi, ralf.kaegi@eawag.ch

Sodis erfolgreich verbreiten

Der Satz «Was gut ist, verbreitet sich von selbst» stimmt längst nicht immer. Darum erforschen Umweltpsychologen, mit welchen Strategien Sodis, die solare Wasserdesinfektion in Plastikflaschen, am erfolgreichsten in der Bevölkerung verankert werden kann. Drei Studien in Bolivien und Simbabwe zeigen, wo Verbesserungspotenzial liegt.

Sodis, die solare Wasserdesinfektion in Plastikflaschen, funktioniert. Die Eawag hat nachgewiesen, dass Krankheitserreger im Wasser durch die UV-A-Strahlung der Sonne zerstört werden. Verschiedene Studien zeigen positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Anwenderinnen und Anwender. In Kenia gingen die Durchfallerkrankungen bei Sodis-Nutzern um rund ein Viertel zurück, und während einer Cholera-Epidemie traten unter Sodis-Nutzern fast 90 % weniger Erkrankungen auf.

Ehrenamt ja, aber die Aktiven müssen Anerkennung erhalten für ihren Einsatz.

Nicht konsequent angewendet

Diese positiven Resultate bedeuten nicht, dass Sodis sich von selbst verbreiten würde – auch nicht dort, wo Kampagnen durchgeführt wurden. So hat 2009 eine Untersuchung des Basler Tropeninstituts in Bolivien aufgedeckt, dass die Methode von vielen nicht korrekt oder nicht konsequent angewendet wird. Zum Beispiel bereiten die Familien zwar Sodis-Wasser zu, trinken dann aber auch unbehandeltes Wasser, etwa während der Arbeit. Mit Feldstudien in Bolivien und Simbabwe hat die Eawag daher untersucht, mit welchen Strategien sich Sodis am effizientesten verbreiten lässt und was eine langfristige und regelmässige Anwendung der Methode unterstützt.

Ehrenamtliche Vermittler – hier in einem Aussenquartier von Harare, Simbabwe – sind in der Bevölkerung verankert und haben ein gutes Gespür, was ankommt bei den Leuten.

Grosses Potenzial der Ehrenamtlichen

Mit Befragungen wurde der Erfolg der angewendeten Massnahmen zwei Monate später analysiert. Am besten schnitten dabei Hausbesuche von professionellen Instruktorinnen und Instruktoren ab. Zwischen 73 % und 90 % der Besuchten wurden später zu regelmässigen Sodis-Nutzern. Auch die Variante, Sodis von ehrenamtlich tätigen, aber gut ausgebildeten Vermittlern weitertragen zu lassen, konnte mit 67 % eine hohe Erfolgsquote aufweisen. Weil die ehrenamtlich Tätigen selbst aus dem untersuchten Gebiet stammten, wurde ausserdem in der Bevölkerung mehr über Sodis gesprochen. Die etwas höhere Effizienz der bezahlten Instruktoren wird also von den Freiwilligen damit wettgemacht, dass sie besser in der Bevölkerung verankert und günstiger sind.

In einem Fall wurden zusätzlich zur Wissensvermittlung durch bezahlte Instruktoren auch Gutscheine für PET-Flaschen verteilt. Doch diese Strategie konnte – allein angewendet – nur 26 % der Befragten davon überzeugen, ihr Trinkwasser mit Sodis aufzubereiten. Für die Eawag-Umweltpsychologen kommt daher dieser Weg eher infrage, um Anwender bei der Stange zu halten, und weniger, um neue Sodis-Nutzer zu gewinnen.

Eher schlecht scheint schliesslich der Erfolg von Informationsveranstaltungen (10 % Überzeugte) und von Ständen an Gesundheitsmessen. Die Messen – meistens von Hilfsorganisationen veranstaltet – sind zwar attraktiv für die Besucherinnen und Besucher. Doch Sodis ist dort lediglich ein Aspekt unter vielen. Nur 20 % der Besucher gaben nach der Messe an, von Sodis gehört zu haben, lediglich 14 % sagten, sie würden Sodis nun anwenden.

Nachlässigkeit bekämpfen

Ist eine Familie einmal dazu übergegangen, ihr Trinkwasser mit Sodis zuzubereiten, heisst das nicht, dass sie das auch nach einigen Monaten noch tut. Die Verhaltensforscher haben daher untersucht, mit welchen Massnahmen die Gewohnheiten gefestigt und Nachlässigkeit bekämpft werden könnten. Sie liessen dazu einfache Selbstverpflichtungen unterzeichnen und verteilten Bilder, welche die Leute in ihren Häusern platzieren konnten. Zum anderen standen auch Plakate und Aufkleber zur Verfügung, die für Quartierbewohner sichtbar – etwa an der Haustür befestigt – darauf hinweisen: «Hier wird Sodis eingesetzt». Alle Methoden erhöhten die Wahrscheinlichkeit, dass Sodis auch nach einer längeren Zeit ohne weitere Kampagnen noch angewendet wurde, um den Faktor zwei bis drei.

Die Autorinnen der Studien empfehlen eine Strategie, welche bezahlte und ehrenamtliche Vermittler kombiniert, langfristig aber vor allem das Potenzial der ehrenamtlich Tätigen nutzt. Diese sollen dafür regelmässig eine Supervision und eine Anerkennung erhalten. ○○○

Kontakt:

Dr. Silvie Kraemer,
silvie.kraemer@eawag.ch

Dr. Andrea Tamas,
andrea.tamas@eawag.ch

Prof. Dr. Hans-Joachim Mosler,
hans-joachim.mosler@eawag.ch

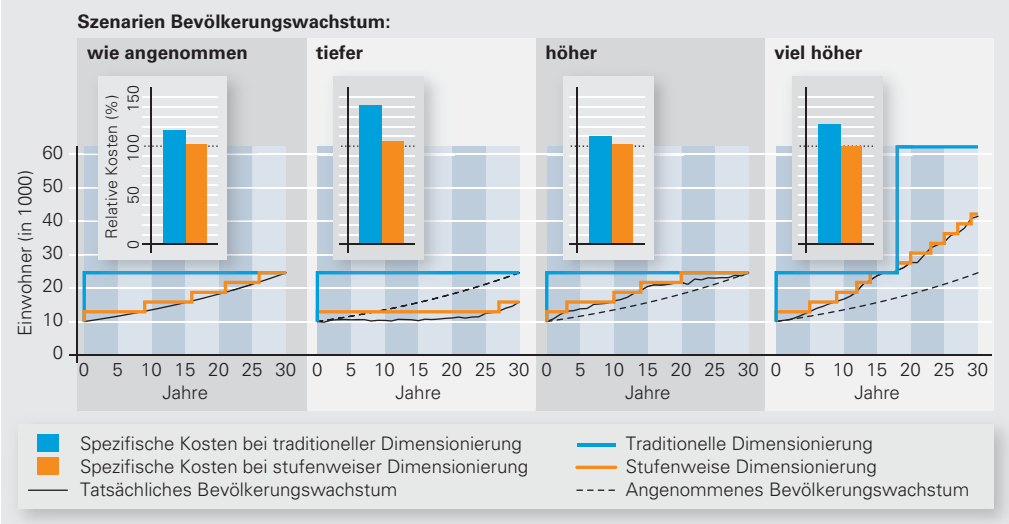
Was kostet die Unsicherheit der Zukunft?

Die Schweizer Abwasserinfrastruktur ist hauptsächlich in den 1960er- und 1970er-Jahren errichtet worden. Heute werden bei rund einem Viertel der Anlagen substanzielle Schäden festgestellt. Sie zu beheben, ist teuer. Forschende an der Eawag gehen deshalb der Frage nach, wie möglichst nachhaltig ein effizientes Abwassersystem erreicht werden kann.

Die Schweizer Abwasserwirtschaft funktioniert gut. Doch die 759 zentralen Abwasserreinigungsanlagen (ARA >500 Einwohnerwerte) und die 47 400 Kilometer öffentliche Kanalisation kommen in die Jahre. Erst kürzlich hat die Eawag im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt den Wiederbeschaffungswert dieser Anlagen abgeschätzt; er liegt bei insgesamt 108 000 Millionen Franken. Soll angesichts dieses Betrags weitergefahren werden mit dem traditionellen System der Abwasserentsorgung in zentralen Kläranlagen?

Optimale Lösungen finden

«Sicher können wir wieder auf das gleiche System setzen», sagt Max Maurer, Leiter der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft. «Ob es die bestmögliche Lösung ist, wissen wir aber nicht.» Genau deshalb gilt es, Kriterien zu identifizieren, die aufzeigen, wo und unter welchen Umständen welches Abwasserkonzept optimal ist. Das heisst laut Maurer auch, dass man mehr über das gegenwärtige System wissen muss. Und Unsicherheiten wie das Bevölkerungswachstum und der Klimawandel dürfen nicht nur über den Daumen gepeilt, sondern müssen ausdrücklich beziffert in den Planungsprozess einbezogen werden. Eine komplexe Aufgabe also, die sich Max Maurer und sein Team gesetzt haben. In einem ersten Schritt sind die Forschenden daran, Modelle zu entwickeln, die das Verhalten der Infrastrukturen abbilden. Dazu gehören Kanalisationsmodelle, die das Leitungsnetz und dessen Wert für jede beliebige Siedlung berechnen können. Ein Zerfallsmodell beschreibt den Zustand der Kanalisation im Verlauf der Zeit. Beide Modelle leiten ihre Resultate ab von verfügbaren Daten ohne aufwändige Erkundungsarbeiten.



Den Ausbau von Kläranlagen an das Bevölkerungswachstum anzupassen (orange Linie), spart Kosten.

Kosten im Fokus

Die Untersuchungen konzentrieren sich zunächst auf die korrekte Charakterisierung der Kosten. Dies ist insbesondere für langfristige Investitionsvorhaben oder für die Potenzialabschätzung neuer Technologien eine Herausforderung. So haben erste Resultate ergeben, dass der Einkaufspreis von dezentralen Hausklär-anlagen gemessen pro Einwohner bereits heute mit dem für zentrale Anlagen vergleichbar ist. Hingegen sind die Unterhalts- und Betriebskosten immer noch um Faktoren höher, und Fragen zur Überwachung sind offen. Forschung und Entwicklung müssen sich daher vornehmlich auf die Optimierung des Betriebes konzentrieren.

Unsicherheit hat ihren Preis

Andere Arbeiten gelten dem Einfluss demografischer Veränderungen und deren Unsicherheiten auf die Kosten der Abwasserreinigung. Modellrechnungen zeigen, dass die traditionellen Kostenberechnungen die tatsächlichen Kosten des Systems deutlich unterschätzen, weil sie vom möglichen und nicht vom effektiven Bezug an Leistungen ausgehen. Unsicherheit, aber auch Wachstum haben ihren Preis. Es ist darum denkbar, dass kleinere dezentrale Abwasserreinigungssysteme dank ihrer Flexibilität auf lange Sicht preiswerter sind als grosse zentrale Anlagen.

System bei Bedarf erweitern

«Bisher wurde eher zu gross gebaut, weil man das Gefühl hatte, dann sei man auf der sicheren Seite», sagt Max Maurer. «Unsere Berechnungen deuten jedoch darauf hin, dass diese Strategie effektiv teurer ist, als eine optimal dimensionierte Kläranlage zu installieren und diese bei Bedarf zu erweitern.» Bereits steht ein Viertel der Schweizer Abwasserinfrastruktur zur Sanierung oder Erneuerung an. Daher engagiert sich die Eawag jetzt dafür, mithilfe neuer Methoden und Modelle das nötige Wissen zu erarbeiten, auf dessen Grundlage nachhaltige Entscheidungen im Abwassersektor getroffen werden können. ○○○

Kontakt:
Dr. Max Maurer, max.maurer@eawag.ch

Forschen mit dem Rohstoff Urin

Urin macht gerade mal 1 % des Abwasservolumens aus, enthält aber 50 bis 80 % der Nährstoffe. Diese müssen mit viel Aufwand in Kläranlagen entfernt werden. Die separate Sammlung und Behandlung von Urin kann eine Chance sein für den Gewässerschutz, aber auch für das Recycling von Nährstoffen. Die Abteilung Verfahrenstechnik der Eawag untersucht daher verschiedene Wege zum Umgang mit Urin – einige stehen an der Schwelle zum Praxiseinsatz, andere sind noch visionär.

1

2

3

6

7

[1] Eine NoMix-Toilette leitet den Urin von den Fäkalien getrennt ab.

[2] Im Keller des Eawag-Hauptgebäudes zapft Umweltingenieur Steffen Zuleeg Urin zu Forschungszwecken aus dem Sammeltank.

[3] Chemiker Michael Wächter bringt frischen Urin ins Labor, wo verschiedene Prozesse untersucht und optimiert werden.

[4] Im Zylinder rechts bauen Bakterien das Ammonium des Urins dank Belüftung zu Nitrat ab. Der Urin wird stabilisiert, damit kein Ammoniak mehr ausgast bei der weiteren Verarbeitung oder beim Transport.

[5] Nach der Stabilisierung und dem Eindampfen bleibt ein Pulver, das alle wesentlichen Nährstoffe enthält.

[6] In einem zweiten Verfahren wird durch die Zugabe von Magnesium der Phosphor ausgefällt. Es entsteht der Dünger Struvit.

[7] Die Struvitfällung bewährt sich bereits im Feld. Der nepalesische Umweltingenieur Raju Khadka mit dem handbetriebenen Reaktor im Pilotprojekt der Abteilung für Wasser- und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern.

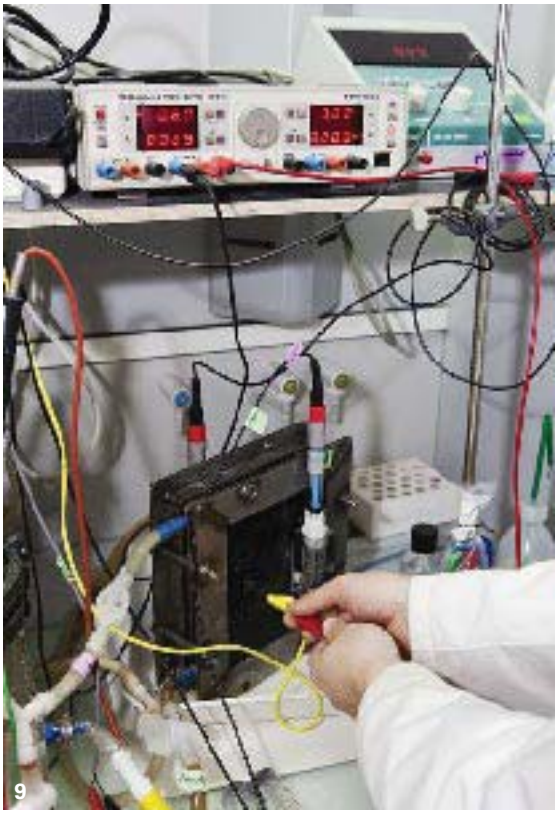
[8] Einen dritten Prozess untersucht Umweltingenieurin Mieke Teunissen im Nitritations-Anammox-Reaktor, wo spezialisierte Bakterien das Ammonium sehr energieeffizient zu harmlosem Luftstickstoff machen.

[9] Die wohl spannendste Perspektive, mit Urin umzugehen, könnte die mikrobiologische Brennstoffzelle werden. Sie produziert je nach Konfiguration Strom oder Wasserstoff.

[10] Stabilisierter Urin steht zur weiteren Verwendung bereit.

4

5


9

10

8

Gewässerschutz und Ressourcenrecycling kombinieren

Urin ist nicht gerade bekannt als Stoff, aus dem die Träume sind. Trotzdem forscht Verfahrenstechniker Kai Udert engagiert und seit Jahren an der braungelben Flüssigkeit. Die Erfolge können sich sehen lassen.

Verschiedene Verfahrensvarianten, wie mit separat gesammeltem Urin umgegangen werden könnte, wurden an der Eawag entwickelt. Zwei Ziele stehen im Zentrum: Durch die Entfernung der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor sowie von Mikroverunreinigungen soll die Umwelt, sprich das Wasser, vor Belastungen geschützt werden. Gleichzeitig kann aus dem Urin Dünger gewonnen werden, der je nach Verfahren die Nährstoffe Phosphor, Stickstoff, Kalium und Schwefel enthält.

Die im Rahmen des Querprojektes «Novaquatis» entwickelte Struvitfällung wird bereits in Pilotprojekten eingesetzt.

In Kombination mit dem Anammox-Verfahren können laut Udert Phosphor und Stickstoff aus dem Urin entfernt und der weltweit begrenzt vorhandene Phosphor als Dünger wiedergewonnen werden. Eine andere Forschungsgruppe der Eawag benutzt das Anammoxverfahren in Kläranlagen zur energieeffizienten Entstickung von Schlammabwasser. Alle im Urin enthaltenen Nährstoffe können mit der Kombination von Nitrifikation und Evaporation zurückgewonnen werden. Das Verfahren wird zur Zeit erfolgreich in den Labors betrieben.

Fast utopisch mutet die Variante an, von der Udert besonders begeistert ist: In einer mikrobiologischen Brennstoffzelle, hier eigentlich eine Elektrolysezelle, bauen Bakterien die organischen Stoffe des Urins ab und liefern dadurch Elektronen an die Kathode. Wird eine Spannung angelegt, kann Wasserstoff produziert werden, der wiederum in einer herkömmlichen Brennstoffzelle Strom für den ersten Prozess zur Verfügung stellen könnte. Das Ziel ist nicht die Stromproduktion aus Urin, sondern die Entwicklung eines hocheffizienten Reaktors zur dezentralen Urinbehandlung – im Idealfall direkt in einer Toilette eingebaut. «Aber davon sind wir noch weit entfernt», relativiert Udert.

Chemikalien und Effekte

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

FORSCHEN

Verursachern auf der Spur

«Mir gefiel der Mix aus Praxis und Theorie, aus Feldarbeit und Modellierung», sagt **Irene Wittmer**, «darum habe ich mich für dieses Dissertationsthema entschieden. Die Umweltnaturwissenschafterin untersuchte in den vergangenen knapp vier Jahren, woher die Schädlingsbekämpfungsmittel in den Oberflächengewässern eigentlich stammen. Lange Zeit galt die Landwirtschaft als Hauptverursacherin. Doch überraschenderweise fand Irene Wittmer heraus, dass ein Teil der Substanzen aus dem Siedlungsraum, u. a. durch Pestizidanwendungen im Garten, in die Gewässer gelangen. Überrascht war Irene Wittmer jedoch nicht nur über ihre wissenschaftlichen Resultate, sondern auch über die gekappte Stromleitung an einer ihrer Messstationen. «Da war sicher keine Maus im Spiel», ist sie überzeugt. Es hätte eher danach ausgesehen, dass jemand das Kabel mit einem Messer oder einer Schere vorsätzlich durchschnitten hat. Noch mysteriöser wurde es, als die Forscherin gleichentags an einer anderen Messstation weiter oberhalb am selben Fliessgewässer eine der grössten Schadstoffwellen verzeichnen konnte. Ob aber wirklich jemand etwas zu vertuschen oder es sich um einen Zufall gehandelt hatte, konnte Irene Wittmer nicht aufklären. Doch zurück von der Kriminalfahndung zur Forschung: Nach Abschluss ihrer Doktorarbeit im Juni 2010 wird Irene Wittmer in einem Gemeinschaftsprojekt der Eawag und des Bundesamts für Umwelt Bafu ein Messkonzept erstellen, mit dem die Kantone die Belastungssituation ihrer Gewässer erfassen können.

LEHREN

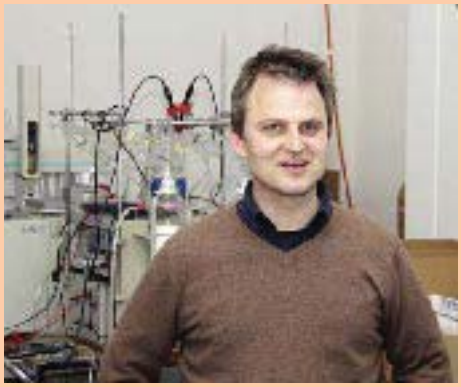
Fragen erwünscht

Am liebsten wäre **Kristin Schirmer** im Boden versunken, als ihr ein Professor zu Beginn ihres Studiums auf eine Frage antwortete: «Das habe ich Ihnen doch in meiner letzten Vorlesung erklärt.» Dieses Bild, dass Fragen als dumm abgestempelt werden, möchte die Ökotoxikologin in ihrer Arbeit als Lehrende keinesfalls vermitteln. Im Gegenteil, für Kristin Schirmer, seit 2008 Leiterin der Abteilung Umwelttoxikologie, ist es eine Herausforderung, in ihren Lehrveranstaltungen eine offene Atmosphäre zu schaffen, die das unvoreingenommene Fachsimpeln mit den Studentinnen und Studenten ermöglicht. An der ETH Zürich engagiert sich die Privatdozentin sowohl im Grundlagen- als auch im Master-Kurs Ökotoxikologie und bietet zudem mit ihrer Abteilung ein sechstägiges Praktikum in den Eawag-Labors an. Auf die Frage, warum sie neben ihrer Forschung doch recht viel Zeit in die Lehre investiere, antwortet Kristin Schirmer: «Ich möchte so viel Wissen weitergeben, wie ich kann. Denn nur gut Ausgebildete sprechen die heiklen Punkte an und bringen die Disziplin weiter.» Besonders freue sie, dass auch immer mehr Frauen nach Studium und Dissertation ihre Berufstätigkeit konsequent weiterführten – und das nicht etwa auf Kosten von Familie und Kindern. Nein, die jungen Frauen schafften es, Beruf und Familie unter einen Hut zu bringen. Kristin Schirmer selbst – sie ist verheiratet und hat zwei Kinder – ist ihnen da ein gutes Beispiel. Für sie war es nie eine Option, für die Familie zu Hause zu bleiben: «Man steckt doch viel Energie in ein Studium, mir war immer klar, dass ich das Gelernte auch umsetzen will», betont Kristin Schirmer, «und zum Glück hat mich mein Mann unterstützt.»

BERATEN

Vom Diskurs profitieren

Michael Schärer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion Oberflächenwasserqualität des Bundesamtes für Umwelt. Unter anderem leitet er das Projekt «Strategie MicroPoll» zur Reduktion von Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung, an dem die Eawag massgeblich mitgearbeitet hat. Die Eawag kennt der Umweltnaturwissenschafter aber schon länger; bereits als Student hat er bei Professor Heinz Ambühl nicht nur die Grundlagen der Limnologie erlernt, sondern bei den Probenahmen auf dem See gleichzeitig seine Rudertechnik verbessert. Auch seine Diplomarbeit zu Pestiziden, die aus der Landwirtschaft in die Gewässer gelangen, hat Schärer an der Eawag verfasst. Im Miteinander von Feldarbeit, Analytik und Modellieren habe er damals ein Gespür bekommen für ein ganzes System. Just dieses Systemverständnis und die Früherkennung von Problemen, sagt Schärer, seien die Dinge, von denen die Verwaltung froh sei, sie an der Eawag abholen zu können. Dazu trage auch die Vernetzung verschiedener Eawag-Mitarbeiter mit Fach- und Interessenverbänden bei. «Diese Leute sichern die Brückenfunktion der Eawag in die Politik und die Gesellschaft», ist er überzeugt, «ihr Engagement sollte aus meiner Sicht aktiv erhalten und honoriert werden.» Und was, wenn sich der Vertreter der Fachbehörde mit Vollzugsaufgaben mit den Forschenden nicht einig ist? «Kontroversen sind immer gut, sie geben mehr Sicherheit», sagt Schärer, «was aalglatt durchgeht, ist meistens nicht gut.»



Biozide: aus Haus und Garten ins Gewässer

Unkrautvertilger und Mittel zur Schädlingsbekämpfung gelangen nicht nur aus der Landwirtschaft, sondern gemäss einer neuen Eawag-Studie zu ähnlichen Teilen auch aus dem Siedlungsgebiet in die Gewässer. Gemessen an den eingesetzten Mengen tragen Dorf und Stadt sogar mehr bei als Felder und Wiesen. Die meisten Stoffe verlassen ihren eigentlichen Wirkort mit dem Regen, andere kommen über das Abwasser unerwünscht in die Umwelt.

Biozide werden in der Landwirtschaft und im Siedlungsgebiet gegen schädliche oder nicht genehme Organismen angewendet. Das Spektrum reicht von Insekten- und Unkrautvertilgern über Stoffe zur Bekämpfung von Algenbewuchs in Farben und Verputzen bis zu Antischimmelmitteln in Kosmetika. Ein Teil dieser Substanzen mit ihren potenten Wirkstoffen landet unweigerlich irgendwann im Wasser und in den Gewässern, wo sie zur Belastung für einzelne Organismen oder das ganze Ökosystem werden können.

Bis vor Kurzem ging man davon aus, dass die meisten in den Gewässern gemessenen Stoffe vom Einsatz in der Landwirtschaft stammten. Der landwirtschaftliche Pestizideinsatz ist daher stark reglementiert und die jährlich in der Schweiz verkaufte Pestizidmenge ist mit rund 2000 Tonnen recht genau bekannt. Zwar hat schon 1998 eine Eawag-Studie aufgezeigt, dass auch das Siedlungsgebiet zur Gewässerbelastung mit Bioziden beiträgt, zum Beispiel durch die Auswaschung des Wurzelschutzmittels Mecoprop aus Bitumenbahnen. Und 2007 bezifferte eine Schätzung den schweizweiten Biozideinsatz im nichtlandwirtschaftlichen Bereich auf 2000 Tonnen pro Jahr. Genauere Daten fehlten jedoch bisher. Nun hat die Eawag im abteilungsübergreifenden Projekt «Rexpo» (Realistische Expositionsszenarien) erstmals für ein ganzes Einzugsgebiet Erhebungen durchgeführt, welche Stoffe und Stoffmengen aus dem Siedlungsraum stammen und welchen Anteil die Landwirtschaft beisteuert.

Das 25 km^2 grosse Gebiet im Zürcher Oberland wurde dazu in vier Teileinzugsgebiete mit verschiedener Landnutzung unterteilt – von einer fast ausschliesslich landwirt-

Oben: Irene Wittmer, Carina Carlsson und Alfredo Alder von der Abteilung Umweltchemie am Einrichten einer automatisierten Probenahmestelle am Bach im Untersuchungsgebiet.
Unten: Schadstoffe gelangen vor allem bei Regenwetter in die Gewässer – auch aus dem Siedlungsgebiet.
Fotos: Ruth Scheidegger, Andri Bryner

Nicht nur die Dosis macht das Gift

Wird von Schadstoffen in kleinen Bächen gesprochen, stellt sich sofort die Frage, ob diese denn für Algen, Fische oder andere Gewässerlebewesen schädlich sind. Die im Rexpo-Projekt gemessenen Konzentrationen der einzelnen Stoffe bewegten sich zumeist unterhalb der Grenze von 100 ng/l, welche die schweizerische Gewässerschutzverordnung als Maximum für organische Pestizide toleriert. Allerdings sagt dieser pauschale Wert lediglich, dass dabei kaum Folgen zu befürchten sind. Er sagt aber nichts über die Wirkung der Summe von Stoffen oder von einzelnen Konzentrationsspitzen. Stand bisher die Wirkung einzelner Substanzen unter kontrollierten Laborbedingungen im Vordergrund, verdeutlicht die Forschung, dass die Situation in den Gewässern wesentlich komplexer ist: Durch Stoffgemische können Effekte aufsummiert werden, und neue Stressfaktoren wie wärmeres Wasser oder höhere UV-Strahlung als Folge der Klimaveränderung können dazu führen, dass Organismen mehr zu kämpfen haben mit Verunreinigungen. Neu muss insbesondere vom klassischen Lehrsatz, dass allein die Dosis die Wirkung bestimme, Abstand genommen werden. Eawag-Forscher haben anhand der typischerweise stark schwankenden Belastungen mit Pflanzenschutzmitteln nachgewiesen, dass die Intervalle zwischen zwei erhöhten Schadstoffkonzentrationen mit darüber entscheiden, ob Organismen dauerhaft geschädigt werden oder sich wieder erholen können. Ist diese Zeit zu kurz – im Fall von Bachflohkrebsen und dem Pestizid Diazinon zum Beispiel kleiner als 28 Tage – wirkt eine zweite Schadstoffwelle deutlich toxischer, weil die Tiere vorgeschädigt sind.

Die Eawag hat daher ein Simulationsmodell entwickelt, das diese Erkenntnis einbezieht und damit die Risikobewertung von Chemikalien verbessern kann. Zudem haben die Studien nachgewiesen, dass es unbedingt erforderlich ist, auch die Abbauprodukte sowohl in die Chemikalienbewertung als auch in die Gewässerüberwachung einzubeziehen. Denn 30 % der Umwandlungsprodukte von 37 untersuchten Pestiziden sind gleich oder sogar stärker toxisch als die Ausgangsverbindung. Und oft sind die Umwandlungsprodukte langlebiger und mobiler, sodass sie sogar im Grundwasser nachgewiesen werden können.

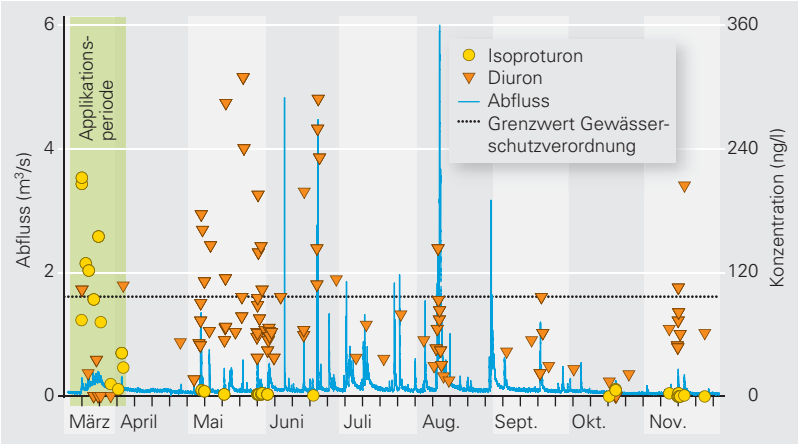


Abb. 1: Vergleich der Konzentrationen von Isoproturon (Getreideherbizid) in einem landwirtschaftlich geprägten Teileinzugsgebiet und von Diuron (Konservierungsmittel) aus einem stark besiedelten Teileinzugsgebiet. Pestizide aus der Landwirtschaft sind saisonal erhöht, vor allem nach Regenfällen während der Anwendungszeit. Biozide aus dem Siedlungsgebiet können über das ganze Jahr erhöht auftreten. Periode 13. März bis 30. November 2007.

schaftlich genutzten bis zu einer primär urban besiedelten Fläche. Probenahmestellen wurden an mehreren Orten des Gewässernetzes installiert und zudem am Ausfluss der einzigen Kläranlage, in einem Regenwasserkanal und nach einem Mischwasserüberlauf. Die automatisierte Analytik erfasste zwölf häufig verwendete Biozide, acht von ihnen wurden regelmässig gefunden.

Siedlung trägt ebenso viel bei wie Landwirtschaft

Mit Befragungen bei den Landwirten und in 60 Haushalten sowie mit Modellrechnungen haben die Forscherinnen und Forscher die Zahlen zu den Verbrauchsmengen erarbeitet. Danach haben sie die Stofffrachten der Gewässer mit diesen Verbrauchsmengen verglichen. Interessanterweise lagen dabei die relativen Anteile, welche das Siedlungsgebiet beisteuerte, deutlich über denjenigen aus der Landwirtschaft, obwohl mengenmässig in der Landwirtschaft mehr ausgebracht wird. So wurden zum Beispiel vom Maisherbizid Isoproturon im Untersuchungsgebiet rund 110 kg eingesetzt, jedoch im Gewässer nur eine Fracht von 470 g (0,4 %) wieder gefunden. Von Diuron, einem Stoff, der im Siedlungsgebiet unter anderem Fassaden gegen Algenbefall schützt, wurden rund 10 kg verwendet und 210 g (2,1 %) davon im Gewässer nachgewiesen. Auch wenn die im Siedlungsgebiet verwendeten Stoffmengen wesentlich schwieriger zu bestimmen sind als diejenigen in der Landwirtschaft, haben die statistischen Auswertungen doch klar gezeigt, dass die Auswaschung von Bioziden im Siedlungsgebiet fünf- bis zehnmal höher ausfallen kann als von den Landwirtschaftsflächen.

Pestizideinsatz trotz Verbot

Sowohl die Frachten aus der Landwirtschaft als auch aus dem Siedlungsraum sind stark abhängig von der Dauer und der Intensität von Regenfällen. Bei den Pestiziden aus der Landwirtschaft kommt zudem eine ausgeprägte Saisonalität dazu, weil diese Stoffe nur in bestimmten Perioden angewendet werden (Abb. 1). Einige im Siedlungsraum angewendete Biozide wurden aber konstant in den Gewässern gefunden, vor allem auch im Abfluss der Kläranlage. Substanzen wie Diazinon oder Carbendazim müssen daher nebst ihrem Einsatz im Freien (z. B. zur Schädlingsbekämpfung in Hobbygärten) auch im Haushalt angewendet werden, von wo sie unabhängig von Regenfällen mit dem Abwasser in die Umwelt gelangen. Infrage kommen etwa Antischimmelmittel im Bad oder Biozide in Textilien. In welchen Produkten sich Biozide überall «verstecken», zeigt das Beispiel der Flohhalsbänder für Haustiere. Sie enthalten Diazinon; deklariert ist

der Stoff hier allerdings als Arzneimittel. So unabsichtlich ist der Einsatz der Mittel selten: In 80 % der befragten Haushalte werden Pestizide angewendet, meist um Rosen vor Insekten zu schützen. 20 % der Befragten gaben zudem an, dass sie Pestizide trotz Verbots – von dem sie nichts wussten – auch auf Garageneinfahrten oder Gartenwegen spritzen.

Spitzen aus Überläufen

Dank der Anordnung der Probenahmestellen konnte das Rexpo-Projekt auch klären, welche Stoffe und Stoffmengen vor allem diffus in die Gewässer gelangen und welche ihren Weg über die Siedlungsentwässerung finden, also via Kanalisation, Kläranlage und Mischwasserüberläufe oder über Regenwasserkanäle im Trennsystem. Je nach Stoff variiert der Anteil der Fracht, der über die Kläranlage kommt, zwischen 8 und 71 %, nur auf das Siedlungsgebiet bezogen zwischen 41 und 71 %. Dass der Prozentsatz auch bei den landwirtschaftlich eingesetzten Stoffen nicht wie erwartet null ist, kann mit unsachgemässer Reinigung von Spritzgeräten und einer einzelnen, nachgewiesenen «Entsorgungsaktion» begründet werden. Nicht vernachlässigbar ist zudem vor allem für kleine Gewässer der Anteil an Schadstoffen, welche über Mischwasserüberläufe ins Gewässer gelangen. So haben die Forscher in einem Teileinzugsgebiet beobachtet, dass während mehrerer Stunden bis zu 50 % des Abflusses im kleinen Bach aus dem Überlauf stammten, mit einem entsprechenden Anstieg der Stoffkonzentrationen (Abb. 2).

Massnahmen anpacken

Anwendungen von Bioziden im Siedlungsgebiet sind eine beträchtliche Quelle für die Gesamtbelastung der Gewässer. Gewisse Stoffe, die in der Landwirtschaft kaum mehr eingesetzt werden, scheinen in Hobbygärten und im Haushalt breit Verwendung zu finden. Von dort gelangen

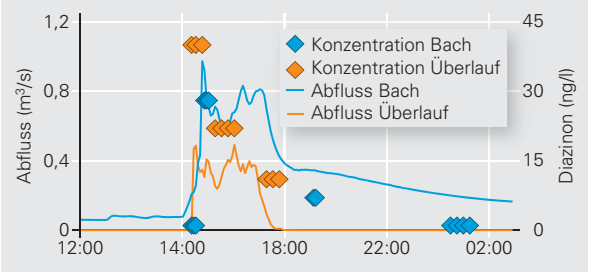


Abb. 2: Der Überlauf des Regenbeckens beeinflusst kurzfristig den Abfluss und die Stoffkonzentration (hier vom oft in Hausgärten eingesetzten Diazinon) im betroffenen Bach. Regenereignis vom 14. Juni 2007.

Probenahme im Überlaufkanal des Regenbeckens.

sie über das ganze Jahr diffus oder über die Siedlungsentwässerung in die Umwelt. Auch wenn die Studie keine direkte Schädigung des Ökosystems nachgewiesen hat, sind Biozide aus dem Siedlungsraum Teil einer dauernden Hintergrundbelastung, die sich langfristig oder kombiniert mit anderen Stressfaktoren negativ auf das Leben im Gewässer auswirken kann. Es lohnt sich also, bei den Konsumentinnen und Konsumenten einen bewussteren Umgang mit Bioziden zu fördern, Materialien in Bezug auf Auswaschung von Bioziden zu prüfen und zu verbessern und dem Problem in der Siedlungswasserwirtschaft mehr Beachtung zu schenken. Gleichzeitig dürfen die Anstrengungen nicht aufgegeben werden, auch den Pestizideintrag aus der Landwirtschaft in die Gewässer weiter zu verringern. ○ ○ ○

Chemisch können die Wirkstoffe aus Siedlung und Landwirtschaft identisch sein.

Anthropogene Spurenstoffe im Wasser waren das Thema des Eawag-Infotages am 23. Juni 2009 an der ETH Zürich mit über 300 Gästen; mehr dazu inkl. Link zum Tagungsband Eawag News Nr. 67: www.eawag.ch/lehre/infotag/2009

Kontakt:

Projekt Rexpo: Irene Wittmer, irene.wittmer@eawag.ch

Ökotoxikologische Effekte: Dr. Roman Ashauer, roman.ashauer@eawag.ch

Ach, wie süss …

Sie ist erst seit vier Jahren auf dem Schweizer Markt – und belastet bereits Seen, Flüsse und Grundwasser: Sucralose, ein neuer künstlicher Süssstoff. Die Eawag hat sich mit verfeinerten analytischen Methoden an ihre Fersen geheftet. Denn von Kläranlagen und Ozonbehandlungen zeigt sie sich unbeeindruckt.

Der künstliche Süssstoff Sucralose, der in den USA seinen Siegeszug angetreten hat, ist seit 2004 auch in Europa zugelassen. Die Vorteile sind augenfällig: Sucralose ist rund 600-mal süsser als Zucker und kalorienfrei; ausserdem hat sie keinen bitteren Nachgeschmack wie andere künstliche Süssstoffe und ist hitzebeständig. Bereits enthalten über 4000 Produkte Sucralose, vom Eistee über den Diätjogurt bis zur Zahnpasta. Der Stoff gilt als unbedenklich, weil er praktisch vollständig wieder ausgeschieden wird.

Kläranlagen verdauen Sucralose genauso schlecht wie wir Menschen.

Kläranlage keine Barriere

Doch genau hier beginnt das Problem: Sucralose ist ein kleines, chloriertes Molekül und ist daher äusserst stabil, baut sich also in der Umwelt über Jahre kaum ab. Erste Studien in Schweden und neuere Untersuchungen, die im Rahmen des Schweizer Projektes «MicroPoll» an der Eawag durchgeführt wurden, haben ausserdem gezeigt, dass Kläranlagen Sucralose genauso schlecht «verdauen» wie Menschen: «Was vorne reingeht, kommt hinten wieder raus», lautet die Bilanz von Heinz Singer, der zusammen mit Philipp Longree die Untersuchungen durchgeführt hat. Selbst eine nachgelagerte Ozonierung, die viele chemische Substanzen abzubauen vermag, bewirkt im Fall von Sucralose wenig. «Sie eliminiert höchstens einen Drittel», sagt Singer, «und das ist deutlich zu wenig.»

Weil die Substanz nicht nur langlebig, sondern auch noch sehr mobil ist und sich rasch überall verteilt, lässt sie direkte Rückschlüsse auf den Verbrauch von sucralosehaltigen Produkten zu. Das Problem dabei ist allerdings, dass es schwierig ist, Sucralose auch in kleinen Konzentrationen zuverlässig nachzuweisen, weil das Molekül bei der Ionisierung im Massenspektrometer Anlagerungsprodukte bildet. Mehreren Forschungsinstituten, darunter auch der Eawag, ist es aber mittlerweile gelungen, eine Analytik zu entwickeln, die Sucralose auch in einer automatisierten Routinemessung im tiefen Nanogrammbereich pro Liter erkennt (ng = milliardstel Gramm). Die Kombination von Flüssigchromatografie und hochauflösender Massenspektrometrie wird nun unter anderem in der Rheinüberwachungsstation bei Basel eingesetzt.

Auch im Grundwasser

Bereits 2007, kaum zwei Jahre, nachdem Sucralose im November 2005 auch in der Schweiz zugelassen worden ist, hat die Eawag den Stoff im Rhein und im Bodensee nachgewiesen. Die im Rhein ermittelte Konzentration von 10 ng/l entspricht dabei bereits einer täglichen Fracht von einem Kilogramm. Und der Sucralosekonsum zeigt weiterhin steil nach oben. Rund vier Tonnen verbrauchen die Schweizerinnen und Schweizer unterdessen jährlich. «Das spiegelt sich wider in steigenden Konzentrationen in Flüssen und Seen», sagt Juliane Hollender, die Leiterin der Abteilung Umweltchemie. «Die jüngste Messung in der Kläranlage Regensdorf fand sogar mehrere Mikrogramm Sucralose pro Liter.» Zu denken gibt vor allem die Konzentration von rund 25 Nanogramm pro Liter, die die Eawag im Rahmen des Projektes «Record» im Grundwasser der Thur nachgewiesen hat.

Wann reagieren Organismen?

In Skandinavien ist der künstliche Süssstoff aufgrund dieser Entwicklung in die Kritik geraten. Die Industrie zieht sucralosehaltige Konsumgüter mittlerweile freiwillig aus dem Verkehr, weil sie befürchtet, dass die Substanz sonst verboten wird. Mögliche Gefahren sind noch kaum erforscht. Wo die Ökotoxikologie für andere Stoffe mit Sterberaten operiert, ist die Wirkung der «ungiftigen» Sucralose auf aquatische Organismen viel schwieriger zu erfassen. Denkbar ist, dass die Süsse das Fressverhalten oder die Orientierung der Tiere verändert. «Ein so persistenter Süssstoff belastet die Umwelt grundsätzlich», sagt Juliane Hollender. «Braucht es ihn wirklich?» ○○○

Markus Bertschi

Heinz Singer mit Proben von Bodenseewasser im Eawag-Labor. «Noch schmeckt nichts süss», sagt der Umweltchemiker und schmunzelt.

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

Monsun entzieht den Äckern giftiges Arsen

Als Folge der Bewässerung mit arsenhaltigem Grundwasser kann sich das giftige Arsen im Boden von Reisfeldern anreichern und wird – bei hohen Konzentrationen – schliesslich auch in der Reispflanze eingebaut. Nun zeigen Forscher von Eawag und ETH Zürich in einem gemeinsamen Projekt mit Wissenschaftern aus Bangladesch, dass ein Teil des Arsens während der Monsunüberflutungen wieder aus dem Boden entfernt wird.

Weltweit trinken Millionen von Menschen Wasser mit Arsenkonzentrationen weit über dem WHO-Grenzwert von 10 Mikrogramm pro Liter. Besonders katastrophal ist die Situation in Bangladesch. Dort wurden zwischen 1980 und 1990 mit Unterstützung der Weltgesundheitsorganisation und Unicef Brunnen gebohrt, um die Menschen mit sauberem Grundwasser aus 5 bis 50 Metern Tiefe zu versorgen. Damit sollten Durchfallerkrankungen und Choleraepidemien, ausgelöst durch den Konsum von verschmutztem Oberflächenwasser, reduziert werden. Anstatt mit gefährlichen Krankheitserregern ist das Wasser aus diesen Tiefen jedoch an vielen Orten mit Arsen belastet. Konzentrationen zwischen 0,5 bis 2500 Mikrogramm Arsen pro Liter wurden von der Eawag gemessen. Typisch sind Verunreinigungen um 400 Mikrogramm pro Liter. Gefahr droht aber nicht nur durch Arsen im Trinkwasser – Grundwasser wird zunehmend auch zur Bewässerung in der Landwirtschaft eingesetzt.

Über 1000 Tonnen jährlich

Durch die Bewässerung mit arsenhaltigem Grundwasser gelangen in Bangladesch jährlich rund 1360 Tonnen Arsen auf die Reisfelder. Es droht eine schleichende Arsenanreicherung in den Böden. Auf Feldern, die während der Monsunzeit unter Wasser stehen, verringert sich der Arsengehalt der Böden allerdings wieder. Die Ursache dafür war bis anhin nicht klar: Das Arsen könnte in tiefere Bodenlagen transportiert werden oder durch mikrobielle Aktivität in die Atmosphäre gelangen.

Ein Junge aus Bashailbhog (Bangladesch) hilft in überfluteten Reisfeldern den Forschern bei der Entnahme von Wasserproben aus verschiedenen Tiefen des Sediments.

Mit dem Boot auf dem Feld

Untersuchungen des Porenwassers der Böden und des darüberstehenden Flutwassers ermöglichten nun zu zeigen, welchen Weg das Arsen nimmt. Linda Roberts, Doktorandin an der Eawag und der ETH Zürich nahm dazu auf zwei überfluteten Reisfeldern in Bangladesch von einem Boot aus Proben. Ihre Analysen belegen, dass das Arsen vor allem in den obersten 10 Zentimetern Ackerboden, in dem es sich während der Bewässerung am stärksten anreichert, wieder mobilisiert wird und durch Diffusion in das über den Böden stehende Flutwasser gelangt. Über das Muster, wie sich das Arsen im Wasser auf dem Feld und in den Kanälen verteilt, konnten die Wissenschafter zudem verfolgen, wie das Arsen mit der zurückgehenden Flut zu den Flüssen transportiert wird. So werden 50 bis 250 Milligramm Arsen pro Quadratmeter in das Flutwasser und die Flüsse ausgespült. Der Prozess entlastet die Böden jährlich von 13 bis 62 Prozent des Arsens, das ihnen zuvor durch Bewässerung zugeführt wurde.

Ernteeinbussen befürchtet

Bereits früher haben die Forscher der Eawag und der ETH Zürich untersucht, wie sich das Arsen durch Bewässerung im Ackerboden verteilt. Dabei wurden an denjenigen Stellen besonders hohe Konzentrationen gemessen, wo das Wasser auf das Feld geleitet wird. Doch mit der Zeit nehmen die Arsenkonzentrationen auch in weiter entfernten Ecken der Reisfelder langsam zu. Die Gefahr steigt, dass sich Arsen in der Reispflanze und im Reis anreichert. Spuren von Arsen gelangen in die Nahrungskette, vor allem aber kann die toxische Wirkung des Arsens zu Ertragseinbussen führen. «Wir schliessen aus unseren Ergebnissen, dass sich das Arsen in Gebieten, die nicht regelmässig überflutet werden, schneller anreichert und dass das Risiko zukünftiger Ertragseinbussen in diesen Gegenden daher grösser ist», sagt Roberts. Nicht überflutete Felder sollten daher besonders sparsam bewässert werden, damit möglichst wenig Arsen in die Böden getragen wird. ○○○

Auf Feldern, die in der Monsunzeit nicht überflutet werden, ist das Risiko von Ertragseinbussen höher.

Globales Problem

Die Belastung des Trinkwassers mit Arsen ist ein globales Problem. Betroffen sind unter anderem Westbengalen, Vietnam, Thailand, Taiwan, die Innere Mongolei, einige südamerikanische Staaten, die USA, Kanada und Bereiche Europas. Selbst in der Schweiz gibt es Gebiete mit leicht erhöhten Arsenkonzentrationen im Grundwasser. Das toxische Halbmetall wittert aus dem Gestein und wird über Sedimente in die fruchtbaren Deltas der grossen Flüsse verlagert. Werden die Ablagerungen ausreichend mit Sauerstoff versorgt, bleibt das Arsen darin gebunden. In der Regel wird aber auch viel organisches Material abgelagert, dessen Abbau Sauerstoff zehrt. Unter sauerstofffreien Verhältnissen beginnen die Mikroorganismen, Eisenoxide und Eisenhydroxide zu reduzieren. Zuvor an diese Stoffe gebundenes Arsen wird freigesetzt und kontaminiert das Grundwasser.

Kontakt:
Linda Roberts, linda.roberts@eawag.ch
Dr. Stephan Hug, stephan.hug@eawag.ch

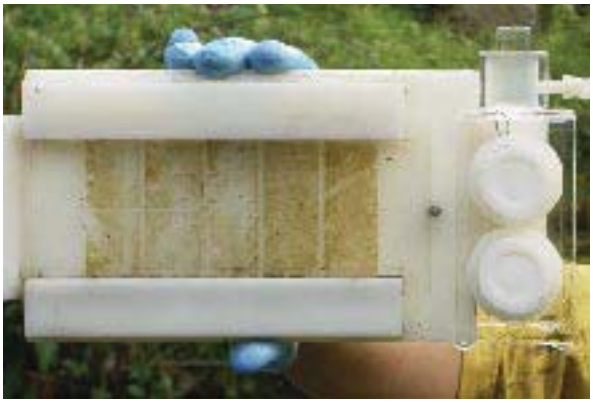
Cadmium auf der Spur

Kleinste Algen, die in Gewässern Steine und Sedimente als Biofilme besiedeln, nehmen Schwermetalle aus dem Wasser auf. Wie und unter welchen Umständen dies genau funktioniert, war bisher kaum untersucht. Jetzt hat eine Forschungsgruppe der Abteilung für Umwelttoxikologie den Ablauf am Beispiel Cadmium unter die Lupe genommen.

Algen reagieren äusserst empfindlich auf Umwelteinflüsse – unter anderem auch auf Schadstoffe im Wasser. Deshalb dienen sie oft als Bioindikatoren zur Beurteilung der Gewässerqualität. Um besser zu verstehen, was wirklich abläuft, analysiert die Chemikerin Laura Sigg mit ihrem Team die Beziehungen zwischen Süsswasseralgen und verschiedenen Metallen. Ein Schwerpunkt der Forschung liegt auf Cadmium (Cd): Das giftige Schwermetall kommt natürlich nur sehr selten vor. In den Schweizer Gewässern ist seine Konzentration gegenüber dem natürlichen Hintergrund leicht erhöht, vor allem bedingt durch die Einleitung von Abwasser. Bei heftigen Regenfällen steigt die Cadmiumkonzentration wie auch die Konzentration anderer Metalle in vielen Gewässern sprunghaft an, da die Strömung metallbelastete Partikel aus dem Sediment aufwirbelt. Ausserdem gelangt bei Regen grundsätzlich mehr Abwasser in die Gewässer.

Biofilm reagiert sensibel

Von einzelnen Algenarten ist bekannt, dass sie Cadmium schnell und stark in ihre Zellen aufnehmen, sobald die Cd-Konzentration im Wasser ansteigt. Wie die komplexen Algengemeinschaften im natürlichen Biofilm reagieren, war bisher wenig bekannt. Philippe Bradac von der Forschungsgruppe um Laura Sigg und Renata Behra gelang es nun zum ersten Mal, die Laborergebnisse auch in einem natürlichen Fliessgewässer zu überprüfen: Im Altbach, einem kleinen, maximal 30 cm tiefen Bach in der Nähe von Zürich, entnahm Bradac während Regentagen – sowie kurz davor und danach – Algen- und Wasserproben und bestimmte ihren Metallgehalt.



Probenahme mit Algen auf Glasplättchen und mit zwei Metall-Passivsammlern direkt im Bach.

Ruedi Keller

Mit Fliesswasserrinnen können Effekte verschiedener Risikofaktoren auf Algen untersucht werden.

Bioverfügbarkeit entscheidend

Die Ergebnisse bestätigen, dass die Mikroalgen schnell und sensitiv reagieren, sobald die Cd-Konzentration ansteigt. Zudem wies Bradac nach, dass für die Aufnahme nicht die Totalkonzentration ausschlaggebend ist, sondern einzig die Konzentration jener Cd-Verbindungen, die in einer für die Algen verfügbaren Form vorliegen. Diese ist wesentlich schwerer zu bestimmen, da sie von anderen Molekülen abhängt, die sich als Liganden an das Cadmium binden. Ist das Element frei im Wasser gelöst oder an kleinere Moleküle wie organische Säuren nur schwach gebunden, wird es von der Alge leicht in die Zelle aufgenommen. Handelt es sich bei den Liganden jedoch um grössere Moleküle mit starker Bindung wie Huminsäuren, können die Algen das Cadmium nicht aufnehmen. Bestimmt hat Bradac diese Verfügbarkeit direkt im Bach mit Hilfe von passiven Sammlern. Dabei diffundieren kleinere, schwach gebundene Metallverbindungen durch eine Membran, während grössere zurückgehalten werden, ähnlich wie bei der Aufnahme durch die Algen.

Im Altbach-Experiment lag Cadmium fast ausschliesslich in für die Algen leicht verfügbaren Formen vor. So kann bereits eine geringe Konzentrationserhöhung von Cadmium einen grossen Einfluss auf den Biofilm haben. Wie sich das aber auf die Algen und die Algengemeinschaft genau auswirkt, ist noch wenig bekannt. Zudem muss untersucht werden, ob sich Cadmium über die Nahrungskette auch in höheren Organismen anreichert. ○○○

Warum Cadmium toxisch ist

Algen nehmen Cadmium nicht auf, weil sie es benötigen, sondern weil sie es nicht vom essenziellen Zink unterscheiden können. Ilona Szivák von der Abteilung für Umwelttoxikologie wies kürzlich nach, dass Cadmium im Vergleich mit anderen untersuchten Metallen einen hohen zellschädigenden Effekt aufweist. Es erhöht die Zahl der freien Sauerstoffradikale, die die Zelle schädigen. Die oft nur einzelligen Algen haben verschiedene Strategien zur Entgiftung entwickelt: Meist wird das Metall von einem Eiweiss gebunden und dadurch inaktiviert. In dieser Form wird es entweder in der Alge zwischengelagert oder ausgeschieden.

Kontakt:
Prof. Dr. Laura Sigg, laura.sigg@eawag.ch

Von Abbaustudien zu Produktionsverfahren

Erst kürzlich entdeckte Bakterien können die im Körper und in der Umwelt sonst sehr stabilen Betapeptide abbauen. Nun zeigen Eawag-Wissenschafter, dass das von den Bakterien verwendete Enzym umgekehrt auch für die Synthese von Betapeptiden genutzt werden kann. Das Verfahren beruht auf dem Einsatz ganzer Zellen, die das Enzym in grossen Mengen produzieren. Die «Green-tech»-Variante für die Produktion von Betapeptiden hat grosses Potenzial.

Betapeptide sind Peptide – kleine Proteine –, die aus β-Aminosäuren bestehen. In der Natur kommen reine β-Peptide nicht vor. Da sie ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die natürlichen Peptide, aber gegenüber enzymatischen Abbauprozessen im Körper sehr stabil sind, sind β-Peptide für die pharmazeutische Industrie zunehmend interessant. Sie entwickelt damit peptidomimetische Medikamente, also Stoffe, welche die Wirkung von körpereigenen Peptiden nachahmen.

Als stabile bioaktive Substanzen bergen β-Peptide allerdings auch die Gefahr, dass sie sich in der Umwelt anreichern und ihre Wirkung an ungewollten Orten entfalten, etwa in Gewässern. Die Eawag hat daher geforscht, auf welchen Wegen β-Peptide abgebaut werden. Fündig geworden sind die Umweltmikrobiologen Birgit Geueke, Tobias Heck und Hans-Peter Kohler bei Bakterien der Gattung *Sphingosinicella,* welche β-Peptide spalten können, katalysiert durch die neu entdeckten Enzyme der β-Aminopeptidasen (BapA).

Kolibakterien als Biofabriken

Jetzt hat sich gezeigt, dass dieselben Enzyme auch als Katalysator genutzt werden können, um den umgekehrten Weg zu beschreiten, also um β-Peptide zu synthetisieren. Grosstechnisch wird zum Beispiel das vitaminähnliche Carnosin, ein Dipeptid mit einer endständigen β-Aminosäure, rein chemisch synthetisiert. Daher testeten die Eawag-Forscher nun mit weiteren Kollegen, ob sich solche Verbindungen nicht biokatalytisch in ganzen Zellen von Bakterien produzieren liessen. Sie analysierten dazu die gefundene Aminosäuresequenz und eruierten das für ihre Produktion verantwortliche Gen. Dieses optimierten und vervielfältigten sie und übertrugen es in Produktionsstämme von Kolibakterien und Hefen. Gewissermassen als «Biofabriken» stellen nun diese Zellen besonders viel des Katalysator-Enzyms her und setzen damit aus den zugegebenen Ausgangssubstanzen β-Peptide zusammen. Für den Test wurde Carnosin aus β-Alanin und L-Histidin synthetisiert.

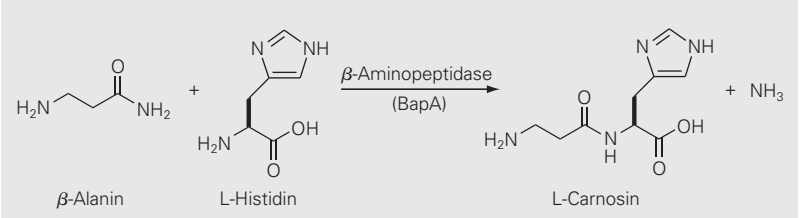
Kommerzieller Einsatz?

In einem zweiten Schritt optimierten die Forschenden nun den Syntheseprozess, um möglichst hohe Erträge an Carnosin zu erhalten. Sie machten dazu Versuche bei verschiedenen Temperaturen, pH-Werten, mit unterschiedlichen Substraten und variierten weitere Grössen. Es gelang ihnen, bis zu 71 % des Bausteins β-Alanin im Syntheseprodukt zu verwerten. Zudem wurden die Zellen auf ihre Langzeitstabilität in der Pufferlösung und auf Einbussen beim mehrfachen Zentrifugieren untersucht. Beide Tests haben sie bestanden. Als vorläufig letzten Schritt haben die Wissenschafter die Synthese des β-Peptids Carnosin in einem halbkontinuierlichen Verfahren ablaufen lassen. Erst ein solches würde eine fortlaufende Ernte und eine Weiterverwendung der nicht genutzten Ausgangsstoffe erlauben und damit den Weg ebnen zum kommerziellen Einsatz der neuen Biosynthese. Gegenüber dem Batchprozess resultierten zwar etwas niedrigere Produktionsraten (65 statt 71 % Einbau des Alanins), aber diese kleine Reduktion würde in kontinuierlichen Prozess-Schlaufen rasch wettgemacht.

Ganze Zellen als Katalysatoren sind eine Chance für umweltfreundliche Verfahren.

Kolibakterien, die β-Aminopeptidasen produzieren, können also direkt als Ganzzellen-Biokatalysatoren genutzt werden für die Produktion von β-Peptiden wie das L-Carnosin. Dieses biotechnologische Verfahren hat grosses Potenzial, um lösungsmittelintensive chemische Synthesen zu umgehen. Das ist weniger umweltbelastend und auch ökonomisch interessant. ○○○

Die dreidimensionale Struktur des BapA-Enzyms erlaubt Aussagen zu den Mechanismen seiner katalytischen Wirkung. Die Röntgenstrukturanalyse wurde mit der kristallisierten Form des Enzyms am PSI durchgeführt in Zusammenarbeit mit Prof. Markus Grütter von der Universität Zürich.

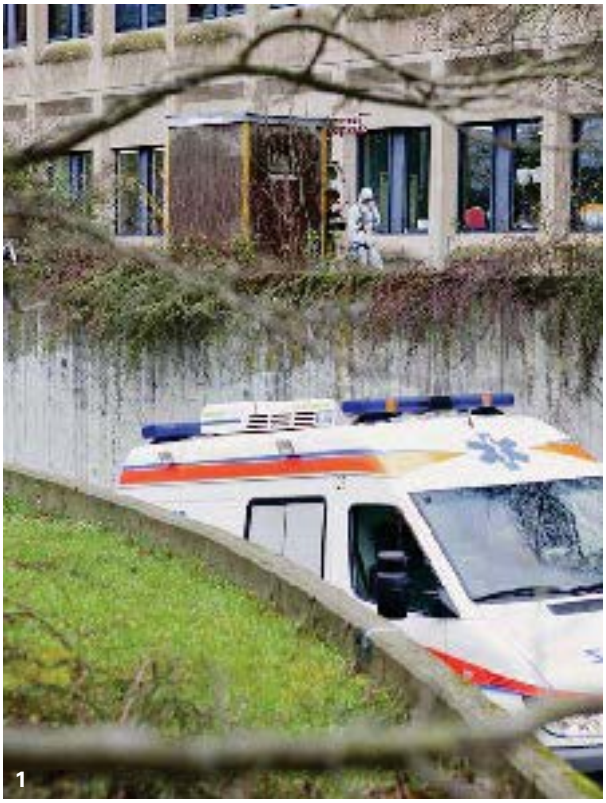


Die vom Enzym BapA katalysierte Synthese des β-Peptids Carnosin aus zwei Aminosäuren.

Kontakt:
Dr. Hans-Peter Kohler; hkohler@eawag.ch
Dr. Birgit Geueke; birgit.geueke@eawag.ch

Extrabehandlung für Spitalabwasser?

Spitäler sind Punktquellen für Arznei- und Desinfektionsmittel im Abwasser. Als mögliche Strategie, um zu verhindern, dass diese Stoffe in die Umwelt gelangen, liegt eine Sonderbehandlung des Spitalabwassers nahe. Die Eawag prüft dazu in einer Pilotanlage im Kantonsspital Baden verschiedene Verfahren. Eine ausgeklügelte Probenahme- und Analysetechnik soll zudem Stoffbilanzen ermöglichen. Sie liefern die Grundlage zur Entscheidung, ob sich die dezentrale Reinigung dereinst wirklich lohnt.



[1] Die beiden Mitarbeiterinnen Anita Wittmer und Martina Hagenbuch machen sich beim Schacht des Kantonsspitals Baden, wo das Abwasser für die Pilotanlage entnommen wird, bereit.

[2] Anita Wittmer bei der Arbeit im Abwasserschacht. In 8 Meter Tiefe fliesst die braune Brühe. Einmal alle zwei Monate müssen die Überwachungskamera sowie das Saugrohr zur Entnahme des Abwassers gereinigt werden, obwohl die Pumpe das Abwasser automatisch fördert.

[3] Blick in den Membranbioreaktor, der biologischen Kleinkläranlage mit Membranfilter.

[4] Eawag-Forscherin Lubomira Kovalova bei der Probenahme.

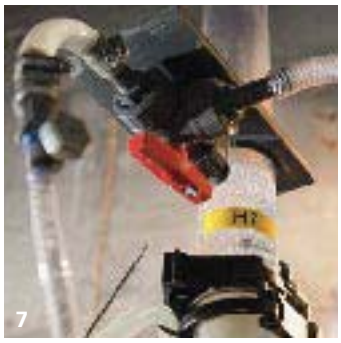
[5] Dieser Automat sammelt kontinuierlich Mischproben über eine wählbare Zeit.

[6] Dosierung und Zuleitung der Ozonierung werden geprüft. Ein Ventil muss ersetzt werden.

[7–9] In das biologisch gereinigte Abwasser wird Ozon (8) oder Pulveraktivkohle (9) eingemischt sowie in einem Test-Versuch die photokatalytische Reaktion an Titandioxid unter UV-Bestrahlung (10) geprüft. Die beiden Verfahren mit Ozon und Pulveraktivkohle zeigen gute Erfolge: Die meisten Arzneimittel werden zu mehr als 50% reduziert.

[10] Im Labor an der Eawag: Die Proben werden mit aufwendiger Analytik von Lubomira Kovalova untersucht und die Resultate mit Projektleiterin Christa McArdell diskutiert.

10


7

8

9

6

Entscheidungshilfen vorbereiten

Das Interesse am Spitalabwasserprojekt der Eawag ist gross. Nebst dem Bundesamt für Umwelt und elf Kantonen sind auch das Staatssekretariat für Bildung und Forschung und das Bundesamt für Raumentwicklung eingebunden. Sie alle unterstützen das Vorhaben im Rahmen der Wissenschafts- und Technologiekoordination Cost des Interreg-Projekts Pills und des EU-Projekts Neptun. Dazu kommen zahlreiche Projektpartner: Fachstellen, andere Forschungsinstitute, das Kantonsspital Baden sowie die Ingenieurbüros Holinger und Hunziker Betatech.

Kein Wunder, hat die Umweltchemikerin Christa McArdell als Projektleiterin alle Hände voll zu tun. Die Bandbreite ihrer Aufgaben reicht dabei von der Verhandlung mit den Geldgebern bis zu Detail-Besprechungen mit Lubomira Kovalova, der Hauptverantwortlichen beim Betrieb der Anlage, der Probenahme und der chemischen Analyse. Kovalova ist es auch, die den Alarm entgegennimmt, wenn wieder einmal eine Pumpe ihren Dienst versagt und eine Datenlücke droht.

Denn gutes Datenmaterial über Spitalabwasser gibt es kaum. Darum musste McArdell mit ihrem Team zusammen mit Hansruedi Siegrist, Leiter der Ingenieurabteilung, zuerst eine kontinuierliche, zuflussproportionale Probenahme installieren und eine automatisierte Analysemethode entwickeln. Nun können damit 69 Substanzen – vom Antibiotikum bis zum Schmerz- und Röntgenkontrastmittel – identifiziert und quantifiziert werden. Die aufwendige Strategie ist notwendig, um alle Frachtspitzen zu erfassen, die zum Beispiel bei den Röntgenkontrastmitteln regelmässig auftreten. Für die Stoffflussanalyse müssen zudem auch diejenigen Anteile an Arzneimitteln berücksichtigt werden, die zwar im Spital abgegeben, aber von ambulanten Patienten zu Hause ausgeschieden werden. Bis Ende 2010 sollen nun die Stoffflüsse bilanziert und die Resultate der Pilotanlage ausgewertet sein. Zusätzlich werden auch Kosten und Akzeptanz von Massnahmen erforscht, um den Verantwortlichen Entscheidungshilfen zu liefern.

Die Eawag durch das Jahr 2009

Die aufwendige, während des laufenden Forschungsbetriebs durchgeführte Sanierung des Laborgebäudes in Dübendorf (Seite 46) und die Peer Review haben das Eawag-Jahr 2009 geprägt. Ein Publikumsmagnet war einmal mehr der Infotag – das Thema «Anthropogene Spurenstoffe im Wasser» hat 330 Teilnehmerinnen und Teilnehmer interessiert. Im Folgenden ein Rückblick auf einige ausgewählte Ereignisse.

Peer Review durchleuchtet die Eawag

Vom 7. bis 10. September weilte ein elfköpfiges Komitee an der Eawag. Fünf Experten aus den USA und sechs aus Europa durchleuchteten die Institution. Zwei von ihnen waren schon 2003 bei der ersten Peer Review mit dabei. Die Evaluation des Komitees konnte sich auf eine kritische Selbsteinschätzung der Eawag stützen. Deren Erarbeitung allein war bereits von grossem Nutzen, weil sich alle Abteilungen intensiv mit den eigenen Leistungen und Zielen auseinandersetzen mussten.

Der Schlussbericht des Komitees ist ausserordentlich positiv ausgefallen. Er attestiert der Eawag eine Führungsrolle und hohe Qualität in der Wasserforschung und in von ihr entwickelter Wassertechnologie. Die Experten empfahlen eine Positionierung anzustreben, welche die grossen Herausforderungen im Wassersektor in der Schweiz und weltweit noch klarer berücksichtigt. Die nach strategischen Überlegungen gesetzten Forschungsprioritäten sollen es der Eawag erlauben, ihre hervorragende Infrastruktur und die grosse Breite an vorhandenem Fachwissen optimal zur Lösung von Wasserfragen einzusetzen. Dies erfordere weiterhin eine gute Mischung aus problemorientierter, praxisnaher Forschung und grundlagenorientierten Forschungsaktivitäten, folgert das Komitee.

Unter den Empfehlungen des Komitees finden sich einige, deren Umsetzung bereits im Gang ist: So stärkt die Eawag mit der internen Zusammenarbeit zwischen Chemikern, Ökotoxikologen und Ökologen sowie mit dem Ökotoxzentrum Eawag-EPFL ihre führende Position im Bereich Management von Chemikalienrisiken. Sie ist ausserdem daran, ein Kompetenzzentrum für Trinkwasser aufzubauen. In zahlreichen anderen Bereichen, so etwa bei der Erweiterung der Sozialwissenschaften, sucht die Direktion einen Mittelweg zwischen dem Aufbau von eigenen Ressourcen und Kooperationen mit anderen Hochschulen. Die Peer Review 2009 wird in den Reporting-gesprächen zwischen der Direktion

Das Peer-Review-Komitee 2009

Prof. Hubert van den Bergh	ETH Lausanne
Prof. Richard Luthy	Universität Stanford
Prof. Granger Morgan	Universität Carnegie Mellon
Dr. Stephan Müller	Schweizer Bundesamt für Umwelt
Prof. Nelson Hairston	Universität Cornell
Prof. André F. Lotter	Universität Utrecht
Prof. Jennifer Field	Universität Oregon State
Prof. Valery Forbes	Universität Roskilde
Dr. Michael Kavanaugh	Malcom Pirnie Corporation
Prof. Mark van Loosdrecht	Technische Universität Delft
Prof. Ortwin Renn	Universität Stuttgart

Oben: Der chinesische Bildungs- und Forschungsminister Wan Gang wird von Direktorin Janet Hering an der Eawag begrüsst. Unten: Fischexperte Rudolf Müller mit Teilnehmern der Sommerakademie Kastanienbaum auf dem Vierwaldstättersee. (Fotos: Yvonne Lehnhardt, Hitoshi Araki)

Das Peer-Review-Komitee 2009 (Stephan Müller fehlt).

und den Abteilungen diskutiert und unter anderem bei der Auswahl neuer Querprojekte oder in der strategischen Planung für die Periode 2012–2016 berücksichtigt. ○○○

25 000 an der Nacht der Forschung

Wie können kleine Boden- oder Wasserorganismen für die Früherkennung und Risikobewertung von Schadstoffen eingesetzt werden? An der Nacht der Forschung in Zürich zeigten Forschende, wie sich Effekte toxischer Substanzen zum Beispiel anhand der Atmungs- oder Bewegungsaktivität der Tiere beobachten lassen. Insgesamt gegen 25 000 Besucherinnen und Besucher flanierten am 25. September durch die Stände am «Jahrmarkt der Forschung» – die Eawag betreute gleich fünf davon: Neben den Kleintieren beim Ökotoxzentrum (S. 47) standen die globalen Süsswasserreserven, das Projekt der Regenmessung mit Mobilfunkantennen (S. 24), die Einflüsse der Sonnenaktivität auf das Klima sowie Stressfaktoren für Algen im Zentrum der Eawag-Informationen. ○○○

Jungforscher an der Nacht der Forschung.

Sportliche Eawag

154 Eawag-Mitarbeitende in 39 Teams haben im Juni 2009 an der schweizweiten Aktion «bike to work» teilgenommen, diesmal in Kooperation mit der Empa. Die Aufgabe lautete, mindestens während der Hälfte der Arbeitstage mit eigener Körperkraft zur Arbeit zu kommen. Ob mit dem Velo, zu Fuss oder auf Inlinern – Hauptsache das Auto blieb stehen. Begleitet wurde die Aktion von einem Fotowettbewerb.
Zum zweiten Mal nach 2004 erhielt die Eawag ausserdem im Mai einen «Prix Velo» als besonders velofreundlicher Betrieb. Ebenfalls im Mai

Eawag-Forscherinnen beim Ausgleich zur Kopfarbeit – 90 Tonnen Sand mussten für das Beachvolleyballfeld auf dem Areal in Dübendorf geschaufelt werden.

siegte die Eawag/Empa-Fussballmannschaft gegen die Empa St. Gallen, und Ende Juni wurde ein Eawag-Fussballturnier mit 12 Mannschaften durchgeführt. Sieger wurde das Team Fischökologie aus Kastanienbaum. Im Herbst haben zudem Mitarbeitende von Eawag und Empa in der Freizeit auf dem Areal ein Beachvolleyballfeld erstellt. Über 90 Tonnen Sand mussten unter anderem dafür geschaufelt werden. ○○○

Öffentliches Interesse anhaltend gross

Die Eawag-Forschungseinrichtungen und das nachhaltige Forum Chriesbach werden weiterhin gern besucht. Fast 1700 Personen konnten 2009 empfangen werden. Unter den Besucherinnen und Besuchern waren prominente internationale Delegationen wie die Direktoren der holländischen Wasser- und Gewässermanagement-Institute und Chinas Forschungsminister Wan Gang. In Kastanienbaum und in Dübendorf fanden auch öffentlich ausgeschriebene Führungen statt. Das Interesse der Öffentlichkeit an Wasserthemen zeigt sich zudem in der grossen Zahl von Zeitungs-, Radio- und TV-Berichten. 934 Mal erschien die Eawag 2009 in den Medien. Besonders beachtet wurden der Infotag im Juni zu anthropogenen Spurenstoffen im Wasser sowie die Medieninformationen zur Entwicklung der Daphnien im Greifen- und im Bodensee (S. 12), zur Erkundung des Seegrunds des Lago Maggiore sowie zum gemeinsam mit der Empa durchgeführten Projekt über Schadstoffe in den Gletschern. Die im Juni in einem aufgefrischten und benutzerfreundlichen Layout neu lancierte Website wird rege genutzt: Rund 30 000 Besucher (unique visitors) klicken sich monatlich durch Eawag-Angebote im Internet. Im Rahmen der Zusammenarbeit im ETH-Bereich wurden ausserdem zu aktuellen Themen regelmässig Faktenblätter publiziert, die sich vor allem an Parlamentarier richten – 2009 unter anderem zu hormonaktiven Substanzen im Wasser sowie zu Fliessgewässerrevitalisierungen. ○○○

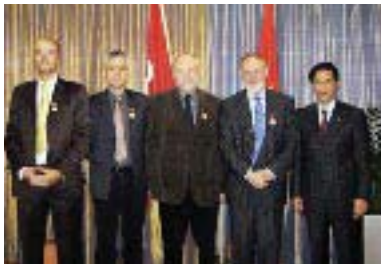
Intensive Weiterbildung

Erstmals fanden 2009 gleich zwei gut besuchte Sommerakademien (Summer Schools) statt. Je rund 30 Doktorierende bildeten sich weiter zu umweltbezogenen Systemanalysen und statistischen Methoden (Dübendorf) sowie zum Zusammenspiel von ökologischen und evolutionären Prozessen in aquatischen Ökosystemen (Kastanienbaum). Für 2010 sind drei Kurse geplant. Fünf praxisorientierte Eawag-Kurse (Peak) verzeichneten insgesamt 107 Teilnehmende. Das Angebot reichte dabei vom Basiskurs zu den Fischen in Schweizer Gewässern bis zur Vertiefung in die Entwicklung nachhaltiger Strategien für die Abwasserwirtschaft oder

zum Einsatz umweltpsychologischer Massnahmen für Verhaltensänderungen im Umweltbereich. Am 23. Januar liessen sich 140 Bau- und Energiefachleute über die Erfahrungen mit dem Forum Chriesbach orientieren. Am 3. April wurde zum Abschied der beiden langjährigen Direktionsmitglieder Ueli Bundi und Roland Schertenleib ein sehr gut besuchtes Symposium durchgeführt unter dem Titel: «Wasserpolitik der Zukunft – was können wir aus den Erfahrungen der letzten 30 Jahre lernen?» Und am 16. November nahmen 175 Interessierte teil an der gemeinsam mit dem Schweizerischen Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW) organisierten Fachtagung zum Einsatz der Membrantechnologie in der Trinkwasseraufbereitung und Abwasserbehandlung zu Ehren des emeritierten Prof. Markus Boller. ○○○

Ausgezeichnet

Die hervorragende Arbeit in Forschung und Lehre an der Eawag hat auch 2009 zu zahlreichen Auszeichnungen und Ehrungen geführt. Stellvertretend für alle seien die Folgenden erwähnt: *Prof. Sam Arey* wurde von den Studierenden der Fakultät für Umwelt und Architektur an der ETH Lausanne zum besten Lehrer gewählt. *David Bittner* erhielt für seine Doktorarbeit zur Geschlechtsorgan-Verkrüppelung der Felchen im Thunersee den Berner Umweltforschungspreis, der nur alle zwei Jahre verliehen wird. *Michael Dodd* gewann mit der Dissertation über die Ozonierung von Abwasser zur Entfernung von bioaktiven Mikroverunreinigungen gleich mehrere Preise, darunter die Silbermedaille der ETH Zürich und den «Young Scientist Award» der Deutschen Chemikergesellschaft. *Lubomira Kovalova* erhielt den ersten Preis in der «Young Scientist Competition» der Universität Zypern für die Analyse von Krebsmedikamenten und ihrer Umwandlungsprodukte im Abwasser.



Antoine Morel, Michael Berg, Walter Giger und Roland Schertenleib (von links) mit den vom vietnamesischen Botschafter Hoang Van Nha verliehenen Ehrenmedaillen.

Für ihre Verdienste haben die vier Eawag-Mitarbeiter *Roland Schertenleib, Antoine Morel, Michael Berg und Walter Giger* Ehren-Medaillen von der vietnamesischen Regierung erhalten. Die Auszeichnung, welche die vietnamesische Regierung nur in seltenen Fällen an Ausländer verleiht, erhalten sie vor allem auch für den Aufbau von zwei Hochschulinstituten in Nordvietnam, welche die praxisnahe Forschungskapazität in den Bereichen Trink- und Abwasser stärken. Anfang 2010 verlieh das Bundesamt für Energie der Eawag und der Tessiner Gemeinde Gordola den «Watt d'Or» für eine vorbildliche und nachhaltige Sanierung der Trinkwasserversorgung.

Nebst den Preisen können auch die Aufnahme von Direktorin *Janet Hering* in den Kreis der Gutachter von *Science,* die Bestimmung von *Piet Spaak* zum Mitherausgeber des *Journal of Plankton Research* und die Ernennung von *Flavio Anselmetti* zum Titularprofessor an der ETH Zürich als Erfolge vermeldet werden. ○○○

Forschungszusammenarbeit mit Rumänien

Mit dem Schlussbericht und einer Sondernummer von «Environmental Science and Pollution Research» (Springer; Vol. 16 / August 2009) ist das Projekt Estrom abgeschlossen worden. Das schweizerisch-rumänische Forschungsprogramm wurde unterstützt vom Nationalfonds, der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit sowie vom rumänischen Bildungsministerium. Im Zentrum stand die zunehmende Belastung der rumänischen Gewässer mit Schwermetallen und schwerabbaubaren Chemikalien. Untersucht wurden auch die Donau, das Grundwasser und einzelne Seen. Die Eawag hat in fünf von neun Projekten die Programmkoordination übernommen und mit Prof. Walter Giger auch den Leiter des Estrom-Lenkungsausschusses gestellt. ○○○

Neu an der Eawag

Prof. Christoph Vorburger ist über eine Förderprofessur des Nationalfonds für Evolutionäre Ökologie 2009 neu an die Eawag gekommen. Der 38-jährige Zoologe wird am Institut für integrative Biologie an der ETH Zürich und in der Abteilung Gewässerökologie an der Eawag arbeiten. Nach einer Postdoc-Zeit in Melbourne, Australien, kehrte Vorburger 2004 nach Zürich zurück und arbeitete als Oberassistent am Zoologischen Institut der Universität. Er erforscht die Evolution verschiedener Fortpflanzungsweisen sowie biologische Wechselwirkungen, die zum Erhalt der genetischen Variation beitragen – zum Beispiel in der Koevolution von Wirt und Parasiten.

Prof. Eberhardt Morgenroth war Titularprofessor an der Universität Illinois und ist seit August 2009 als Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich angestellt. Der designierte Nachfolger von Prof. Willi Gujer hat jedoch seine Forschungsgruppe an der Eawag. Seine Fachgebiete sind die biologische Aufbereitung von Trinkwasser und die biologische Reinigung von Abwasser. Der Umweltingenieur will an der Eawag – an der Schnittstelle zur Praxis – ganzheitliche Lösungen entwickeln, um sauberes Wasser für den urbanen Gebrauch zu erhalten und auch sauberes Wasser wieder in den Naturkreislauf zurückzugeben. ○○○

Verjüngungskur für ein 40-jähriges Haus

Das 1970 bezogene Eawag-Laborgebäude wurde 2009 «generalüberholt». Der Umbau unter Betrieb hat an alle Beteiligten hohe Anforderungen gestellt und die Nachsicht der von Staub und Lärm Betroffenen arg strapaziert. Doch die Investition von rund 20 Millionen Franken war dringend nötig und das Ergebnis kann sich sehen lassen.

Undichte Fenster, mangelhafte Wärmedämmung, tropfende Leitungen und nicht mehr den Vorschriften entsprechende Elektroinstallationen – vieles war am 40-jährigen Laborgebäude der Eawag nicht mehr in Ordnung. Dazu kamen neue Bedürfnisse, zum Beispiel nach mehr Kühl- und Klimaräumen. Doch statt das Haus abzureissen und neu zu bauen, hat man sich für einen Werterhalt entschieden. Nochmals 30 Jahre soll der Bau am Chriesbach seinen Dienst tun. Von Januar 2009 bis April 2010 wurden all diese Mängel behoben.

Der Umbau unter Betrieb war für alle eine grosse Herausforderung.

Empa Bau, Stephan Mäusli

Oben: Baugrube und Fundierung der Stabilisierungselemente für die Gewährleistung der Erdbebensicherheit; unten: Renoviertes Labor, neu mit Mediensäule und Punktabsaugeinrichtungen.

Wärmerückgewinnung

Neue Fenster wurden eingebaut, die Laborkapellen den aktuellen Normen angepasst, sämtliche Sanitäranlagen erneuert, alle Lichtinstallationen, die Brandmeldeanlagen sowie die Telefon- und Datenleitungen ersetzt. Vor allem aber wurde das Gebäude – soweit möglich – energetisch optimiert: Die Nachisolation der Brüstungen und ein Laborkühlkreislauf mit Wärmerückgewinnung bringen dem Haus eine hohe thermische Autonomie.

Äusserlich hat sich am sechsgeschossigen Bau nicht viel verändert. Einzig an der Westfassade gewährleisten zwei Betonscheiben die Erdbebensicherheit – dort war auch ein grösserer Aushub erforderlich. Das Aushubmaterial konnte teilweise für die Umgebungsgestaltung eingesetzt werden, um Transporte zu vermeiden. Realisiert wurden ein neues Biotop, ein Beachvolleyballfeld und neue Veloabstellanlagen. Leider noch aufgeschoben ist zurzeit die geplante Chriesbachrevitalisierung. Das Zürcher Kantonsparlament hat dem federführenden Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft eine Budgetkürzung verordnet.

Umbau unter Betrieb

Für Max Mauz, den Leiter des technischen Betriebs, geht mit dem Abschluss der Instandstellungsarbeiten eine intensive Phase zu Ende. Weil die Laborarbeiten nicht einfach ein Jahr lang gestoppt oder vollständig ausgelagert werden konnten, wurde die Sanierung in zwei Etappen unter Betrieb durchgeführt. Das stellte an alle Beteiligten hohe Anforderungen, weil Provisorien eingerichtet und gezügelt und viele Flächen auch gemeinsam genutzt werden mussten. Lärm, Erschütterungen und bisweilen auch Staub liessen sich trotz vorsorglicher Massnahmen für die im Laborgebäude arbeitenden Technikerinnen, Techniker und die Forschenden nicht vermeiden. Intensiv war zeitweise auch das Feilschen um Raumzuteilungen, Mobiliar und vor allem um spät eingebrachte Änderungswünsche, die nicht immer alle berücksichtigt werden konnten. Klar, dass da nicht nur Rohrleitungen, sondern auch einmal Nerven blank lagen. Doch Rik Eggen von der Direktion windet den Betroffenen ein Kränzchen für ihre Geduld und dafür, dass die wissenschaftliche Arbeit der Eawag im Berichtsjahr nachweislich nicht gelitten habe.

Sanierungen auch in Kastanienbaum

Mit dem Neubau des Forums Chriesbach und der Eawag-Empa-Krippe (Bezug Sommer 2006) sowie der Sanierung und Aufstockung des Bürogebäudes (Bezug Januar 2008) ist nun die bauliche Entwicklung am Standort Dübendorf abgeschlossen. In Kastanienbaum stehen noch Sanierungen bevor. Bereits 2009 wurden eine vorgezogene Asbestsanierung durchgeführt, ein neuer Lift eingebaut und ein Gebäudeautomations- und Schliesssystem eingeführt. ○○○

126 Kilometer Kabel verlegt

Dass die Instandstellung des Laborgebäudes mehr war als eine Pinselrenovation, zeigen folgende Zahlen: Es fanden 57 Sitzungen mit den Nutzervertretern statt. Es wurden 250 Tonnen Beton abgebrochen, 126 Kilometer neue elektrische Kabel verlegt, 2500 m Sanitärleitungen demontiert und 4500 m neu montiert, 2423 Löcher in die Wände gebohrt und 126 Kubikmeter Abfall entsorgt.

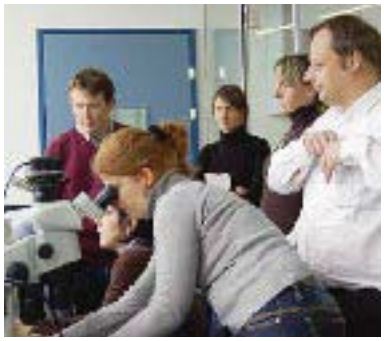
Das Ökotoxzentrum als starker Partner

Das von der Eawag und der ETH Lausanne gemeinsam geführte Ökotoxzentrum hat sich im zweiten Betriebsjahr bereits als starker Partner in der Weiterbildung etabliert. Fachleute aus Praxis, Verwaltung und Forschung nutzten das Kursangebot und tauschten Erfahrungen aus. Themen waren die Risikobewertung mit Computermodellen, der Nachweis hormonaktiver Substanzen in Gewässern und die Bewertung von Ökotoxtests.

Seit dem Herbst 2008 trägt das Zentrum für Ökotoxikologie dazu bei, aktuelle Forschungsergebnisse für die Praxis nutzbar zu machen. Es informiert Fachleute über die internationalen Entwicklungen in der Ökotoxikologie und wirkt damit als Plattform für die Zusammenarbeit verschiedener Interessenvertreter, die in anwendungsorientierten Projekten und Weiterbildungskursen zusammenkommen. 2009 standen gleich drei Kurse auf dem Programm sowie eine Fachtagung zur Arbeit mit Bachflohkrebsen. Über 90 Expertinnen und Experten brachten sich auf den neuesten Stand des Wissens und diskutierten aktuelle Probleme und Lösungsmöglichkeiten.

Tests im Test

Ökotoxikologische Tests werden benötigt, um die Wirkung der komplexen Mischung von Schadstoffen zu beurteilen, die in Gewässern und Böden teils in minimalen Konzentrationen vorliegt. Aber welche unter den zahlreichen Tests eignen sich für welche Fragestellungen? Was ist ihre Aussagekraft? Wie können sie kombiniert werden? Zur Beantwortung dieser Fragen stellte das Ökotoxzentrum in seinem ersten Kurs zunächst die möglichen biologischen Testmethoden vor. In einem praktischen Teil konnten die Teilnehmer anschliessend ausgewählte Testverfahren im Labor näher kennen lernen und bewerten. Da in kleinen Gruppen gearbeitet wurde, war es möglich, spezifische Probleme vertieft zu diskutieren, was von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern geschätzt wurde.



Gruppenarbeit im Kurs zu verschiedenen Ökotoxtests.

Biotests ergänzen moderne Analytik

Eine spezielle Herausforderung unter den Schadstoffen stellen Substanzen dar, die auf Organismen ähnlich wirken wie Hormone. Denn hormonaktive Stoffe haben variable Strukturen und treten in Gewässern in verschiedensten Kombinationen auf: Das macht es sehr anspruchsvoll, sie mit chemischer Analytik nachzuweisen. Auch der Effekt dieses Stoffgemischs ist analytisch schwer abzuschätzen. Biologische Verfahren können Abhilfe schaffen. In einem mehrtägigen Workshop hat das Ökotoxzentrum die Erfahrungen mit Biotests für hormonaktive Substanzen mit Fachleuten vertieft. Testentwickler und -anwender aus dem In- und Ausland stellten ihre Aktivitäten vor und diskutierten ihre Bedürfnisse. In der Schweiz gibt es momentan noch keine empfohlenen Nachweismethoden für hormonaktive Substanzen – auch Schwellenwerte wurden bislang keine festgesetzt. Das Ökotoxzentrum schlägt daher vor, mehrere Testmethoden anzuwenden. Sie decken verschiedene Wirkmechanismen ab und können je nach Bedarf kombiniert werden.

Risikobewertung am Computer

Die giftige Wirkung von Umweltschadstoffen kann auch mit Hilfe von computergestützten Modellen vorhergesagt werden. Die Risikobewertung mit quantitativen Struktur-Wirkungs-Beziehungen bildete den Fokus des dritten Weiterbildungskurses. Die auf QSAR (Quantitive Structure-Activity Relationships) basierten Verfahren sind nützlich, um Lücken in den vorhandenen toxikologischen Daten zu schliessen. Der Kurs gab einen Überblick über verschiedene Modelle, die von den Teilnehmenden anschliessend auch angewendet werden konnten. Die Basis des Weiterbildungsangebots am Ökotoxzentrum bilden Einführungskurse in die Ökotoxikologie, Anwenderkurse und Kurse über die Beeinträchtigung natürlicher Systeme. Darüber hinaus werden laufend aktuelle Themen aufgegriffen. Ausgewählte Kurse werden zusammen mit dem neuen Zentrum für angewandte Humantoxikologie durchgeführt. ○ ○ ○

Wissen aufbereiten und der Praxis eine Austauschplattform bieten, sind unsere Kernaufgaben.

Prof. Rik Eggen, Stv. Direktor Eawag, Leitungsgremium Ökotoxzentrum

Anwendungsorientierte Projektarbeit

Neben dem Engagement für die Weiterbildung haben die mittlerweile zwölf Angestellten des Ökotoxzentrums an der Eawag in Dübendorf und an der ETH Lausanne 2009 natürlich auch an zahlreichen Projekten gearbeitet. Vorwiegend im Auftrag von Bund und Kantonen wurden unter anderem untersucht:

- Auswaschung von Schadstoffen aus Fassadenfarben, die Nanosilber enthalten.
- Ökotoxikologische Beurteilung von Nanosilber in Wäschereiabwasser.
- Ökotoxikologische Bewertung von Deponiesickerwasser.
- Effekte von Epoxidharzbeschichtungen in Trinkwasserleitungen.
- Effektbeurteilung einer zusätzlichen Reinigungsstufe gegen Mikroverunreinigungen in Kläranlagen.
- Grundlagen für ökotoxikologisch basierte Anforderungen an Einzelstoffe.

Kontakt:
info@oekotoxzentrum.ch
www.oekotoxzentrum.ch

Chancengleichheit und Genderfragen

Auf Antrag des Komitees für Chancengleichheit EOC hat die Direktion 2009 das Mentoringprogramm für Forscherinnen bewilligt. Das Projekt startet im Frühling 2010 mit zehn Teilnehmerinnen. Es unterstützt die Frauen, ihre Karriere nach der Dissertation oder einer Zeit als Postdoktorandin besser zu planen und sich erfolgreich für höhere Stellen in Wissenschaft und Management zu bewerben. Denn nach wie vor ist auch an der Eawag der Frauenanteil auf leitenden Stellen zu tief.

In Zusammenarbeit mit der Empa ist es 2009 gelungen, einen Workshop der EU-Kommission an die Eawag zu holen, der die Integration von Genderfragen in EU-Forschungsprojekten stärkt. Und gemeinsam mit den anderen Chancengleichheitsgruppen im ETH-Bereich wurde die Fortsetzung des Projektes «Fix the leaky pipeline» erreicht. Dessen Hauptziel ist es, die Zahl der Professorinnen im ETH-Bereich zu steigern.

Familien fördern

Eine Balance zu finden zwischen Arbeits- und Privatleben ist nicht nur für Frauen eine Herausforderung. Das EOC hat sich daher der Initiative der ETH Zürich angeschlossen. Diese lädt Väter zum regelmässigen Austausch ein und fördert Bedingungen, die es Männern in der Forschung erlauben, mehr am Familienleben teilzuhaben. Dazu gehören auch die Beteiligung am nationalen Tochtertag (auch für Knaben offen) sowie der Ausbau von Betreuungsplätzen in der Eawag/Empa-Krippe. Dank dem Zumieten eines Raums kann nun flexibler auf die Bedürfnisse der Familien reagiert werden und es gibt keine Warteliste mehr.

Sprachgefühl zeigen

In der internationalen und multikulturellen Umgebung an der Eawag tauchen vermehrt Verständigungsprobleme auf. Während bei den wissenschaftlichen Publikationen Englisch unwidersprochen dominiert, ist das bei Sitzungen oder informellen Anlässen nicht immer der Fall. Hier stellt sich die Frage, wie bewusst mit Sprachbarrieren umgegangen werden soll. Eine Arbeitsgruppe des EOC ist daher zurzeit daran, Grundlagen zu erheben und Empfehlungen zu formulieren. ○○○

Dr. Natalija Miladinovic, Koordination EOC

Bei CO_2-monitor dabei

Die Eawag hat in den letzten Jahren ihren Verbrauch an Energie und anderen Ressourcen verringert. Für die Deckung des betriebseigenen Energiebedarfs ist die ganze Institution nahe daran, sich vollständig mit erneuerbaren Energien zu versorgen und den Mobilitätsbedarf CO_2-neutral zu decken. Der Erfolg hängt auch davon ab, wie sich jede und jeder im beruflichen Alltag verhält.

Reduktion als Jahresleitziel

Auf Initiative des Umwelt-Teams bietet die Eawag daher seit Oktober 2009 ihren Mitarbeitenden einen Anreiz, auch die privaten CO_2-Emissionen freiwillig zu erfassen und persönliche Reduktionsziele zu setzen. Dies im Rahmen des Projektes CO_2-monitor, das vorerst 3 Jahre dauern wird. Grosse Einsparungen werden z. B. durch ein anderes Mobilitätsverhalten und durch die Benutzung der Energiesparvorrichtungen am Arbeitsplatz ermöglicht. Entsprechend hat die Direktion die Massnahmen zum Energiesparen im eigenen Einflussbereich auch als institutionelles Jahresleitziel gewählt, das in den Personalgesprächen thematisiert wird.

Rekordteilnahme

CO_2-monitor wurde für Institutionen mit hohen Umweltzielen entwickelt. Der Start in der Eawag übertraf alle bisherigen Beteiligungserfolge: Bereits nach einem Monat hatten 25 % der Belegschaft ein Konto eröffnet. Rahmenveranstaltungen und Wettbewerbe begleiten das Projekt. Ein Ballon veranschaulichte am Startanlass Produktion und Abbau von CO_2: So verursacht eine Autofahrt von 2 Minuten mit 120 km/h 1 kg, die Herstellung eines T-Shirts 4 kg CO_2; ein Baum mit 2 m Umfang benötigt 55 Tage, um 1 kg CO_2 abzubauen. ○○○

Dr. Thomas Lichtensteiger,
Umweltbeauftragter der Eawag

Information zum Projekt: www.co2-monitor.ch

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

Startanlass zum CO_2-monitor mit Elektro- und Klappvelos im Forum Chriesbach.

Wasser-Agenda 21: Probleme gemeinsam lösen

2009 hat die Wasser-Agenda 21 vor allem die beiden Themen «Einzugsgebietsmanagement» und «Dialog Wasserkraft» behandelt. Es wurden Ideen entwickelt zur integralen Bewirtschaftung des Wassers im Einzugsgebiet und zum Umgang mit Konflikten bei der Wasserkraftnutzung. Eine Tagung und ein Newsletter stärkten die Kommunikation.

Erfolgreiche Lösungen brauchen eine breite Abstützung. Das ist der Grundsatz der Wasser-Agenda 21. Die einzelnen Themenfelder werden von Arbeitsgruppen behandelt, die Resultate dann im Vorstand und von den Mitgliedern diskutiert. Die Eawag ist im Vorstand und in den Arbeitsgruppen vertreten.

Einzugsgebietsmanagement vorantreiben

Eine bereits 2007 im Auftrag des Bundesamts für Umwelt und der Wasser-Agenda 21 verfasste Studie zeigt, dass ein Wassermanagement, das sich nicht nur an Kantons- oder Gemeindegrenzen, sondern in erster Linie an den Einzugsgebieten orientiert, sinnvoll wäre. Doch für eine breite Umsetzung eines solchen Ansatzes fehlen Grundlagen und gesamtschweizerisch gültige rechtliche Vorgaben. Eine Arbeitsgruppe der Wasser-Agenda 21 soll diese Lücken nun füllen und neue Impulse für das Einzugsgebietsmanagement vermitteln.

Wasser-Agenda 21

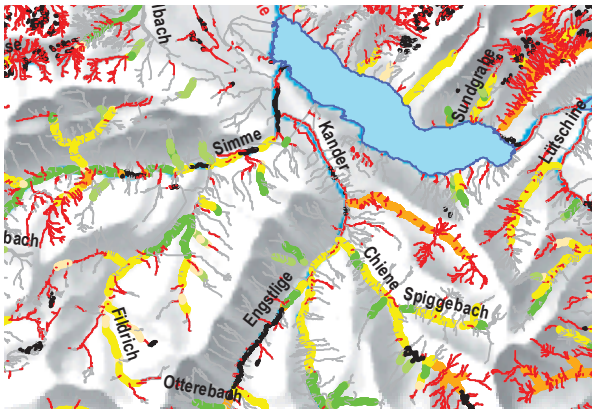
Das Netzwerk Wasser-Agenda 21 wurde 2008 gegründet, um die Weiterentwicklung der Schweizer Wasserwirtschaft zu unterstützen. Der Verein bringt wichtige Exponenten und verschiedene Interessen der Wasserwirtschaft zusammen, etwa die Bundesämter für Energie und Umwelt, die Kantone, den Wasserwirtschaftsverband und Umweltorganisationen. Er versteht sich als Akteurnetzwerk und Dialogplattform und schafft so die Voraussetzungen, damit sektorenübergreifende Wasserthemen ganzheitlich behandelt werden können. Die Initiative zur Wasser-Agenda 21 kam massgeblich aus der Eawag. An der Schnittstelle zur Praxis nimmt sie Fragen aus der Wasser-Agenda 21 in die Wasserforschung auf und speist hier erarbeitete Resultate oder Strategien in die Diskussion ein. Aktuell ist die Geschäftsstelle der Wasser-Agenda 21 an der Eawag angesiedelt.

Zurzeit erarbeitet die Gruppe ein Leitbild. Dieses soll bis Ende 2010 einen gemeinsamen Orientierungsrahmen schaffen und verständlich formulieren, warum es Einzugsgebietsmanagement in der Schweiz braucht. Das Leitbild richtet sich einerseits an die vollzugsverantwortlichen Kantone, die auch die Verfügungsberechtigten über die Wasservorkommen sind. Andererseits an Bund und Gemeinden und alle weiteren mit wasserwirtschaftlichen Aufgaben beschäftigten Akteure.

Schutz und Nutzen priorisieren

Ein weiteres Themenfeld umfasst den Umgang mit dem Konfliktfeld von Wasserkraftnutzung und Gewässerschutz. Verschiedene Analysen und die über 600 Projektideen für Kleinwasserkraftwerke (ausgelöst von der kostendeckenden Einspeisevergütung) zeigen, dass sich hier Zielkonflikte weiter verstärken. Die Wasser-Agenda 21 will mithelfen, dass sich ein versachlichter Lösungsdialog etablieren kann und der Informationsaustausch unter den Akteuren verbessert wird. Ganzheitliche Lösungsansätze sollen entwickelt und begleitet werden.

2009 wurde eine Methodik zur Priorisierung von Schutz und Nutzung von Fliessgewässerstrecken entwickelt. Sie bewertet die Nutzungseignung in grösseren zusammenhängenden Räumen transparent. Die Differenzierung schafft Orientierung für Entscheidungsträger und hilft, politische Zielsetzungen in einer Planungsgrundlage festzuhalten. Insgesamt sollen damit sowohl im Bereich der Wasserkraftnutzung als auch des Gewässerschutzes optimierte Projekte entstehen. Die Methodik wurde im Kanton Bern angewendet und floss in die Wasserstrategie des Kantons ein.



Der Kanton Bern hat die von der Wasser-Agenda 21 entwickelte Methodik übernommen, um die Eignung seiner Gewässer für die Wasserkraftnutzung nach transparenten Kriterien darzustellen.

Informationsplattform

Neben der inhaltlichen Auseinandersetzung mit wichtigen Themen stärkt die Wasser-Agenda 21 zunehmend den Informationsaustausch unter den verschiedenen Interessenvertretern, unter anderem mit einem Newsletter. Am 9. März 2009 wurde eine Fachtagung zum Thema Schwall und Sunk aus Wasserkraftwerken durchgeführt. 12 Referentinnen und Referenten aus dem In- und Ausland informierten über die gewässerökologischen Auswirkungen des Schwallbetriebes, den Stand der gesetzlichen Regelung und über Beispiele für schwalldämpfende Massnahmen oder andere Lösungen. Die Tagung hat gezeigt, dass das Problem ernst genommen und auch in der Schweiz bereits intensiv an Lösungen gearbeitet wird.

Erfolgreiche Lösungen brauchen eine breite Abstützung.

Weitere Informationen und alle erwähnten Studien zum Download: www.wa21.ch

Kontakt:
Wasser-Agenda 21 c/o Forum Chriesbach, Überlandstrasse 133, CH-8600 Dübendorf, Stefan Vollenweider, Geschäftsführer; stefan.vollenweider@wa21.ch

Organisation

Direktion
Janet Hering (Direktorin)
Rik Eggen (Stv. Direktor)
Willi Gujer
Peter Reichert
Bernhard Wehrli
Jukka Jokela (ab 1.1.2010)

Ökotoxzentrum Eawag/EPFL

Ständige Kommissionen

Forschungsabteilungen

Forschungsschwerpunkt Aquatische Ökologie

- **Oberflächengewässer**
  Alfred Wüest
- **Gewässerökologie**
  Jukka Jokela
  Piet Spaak (ab 1.1.2010)
- **Fischökologie + Evolution**
  Ole Seehausen

Forschungsschwerpunkt Chemikalien + Effekte

- **Umweltchemie**
  Juliane Hollender
- **Umweltmikrobiologie**
  Thomas Egli
- **Umwelttoxikologie**
  Kristin Schirmer

Forschungsschwerpunkt Urbane Wassersysteme

- **Wasserressourcen + Trinkwasser**
  Rolf Kipfer
- **Verfahrenstechnik**
  Hansruedi Siegrist
- **Siedlungswasserwirtschaft**
  Max Maurer
- **Wasser + Siedlungshygiene in Entwicklungsländern (Sandec)**
  Chris Zurbrügg

- **Systemanalyse + Modellierung**
  Peter Reichert
- **Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung**
  Bernhard Truffer

Support

- **Stab**
  Thomas Lichtensteiger
- **Kommunikation**
  Anke Poiger
- **Informatik**
  Gabriel Piepke
- **Personal + Finanzen**
  Gabriele Mayer
- **Technischer Dienst**
  Max Mauz
- **Berufsbildung**
  Max Reutlinger

Eawag / Empa

- **Bibliothek**
  Bas den Brok
- **Kinderkrippe**
  Joerg Klausen

Beratende Kommission

André Bachmann (Präsident)
Direktor BMG Engineering AG, Schlieren

Peter Arbenz
Präsident Helvetas

Ursula Brunner
Rechtsanwältin, Ettler Brunner Suter Bächtold, Zürich

Erika Forster
Ständerätin, St. Gallen

Günter Fritz
Leiter Environment, Health and Safety, Ciba Spezialitätenchemie, Basel

Urs Gantner
Leiter Forschung und Beratung, Bundesamt für Landwirtschaft (BWL), Bern

Willy Geiger
Vizedirektor Bundesamt für Umwelt (Bafu), Bern

Jürg Meyer
Leiter Infrastructure Services, ISS Schweiz

Direktion

Janet Hering
Direktorin

Rik Eggen
Stv. Direktor

Willi Gujer

Peter Reichert

Bernhard Wehrli

Jukka Jokela
(ab 1.1.2010)

Forschungsabteilungen

Alfred Wüest

Jukka Jokela

Piet Spaak
(ab 1.1.2010)

Ole Seehausen

Juliane Hollender

Thomas Egli

Kristin Schirmer

Rolf Kipfer

Hansruedi Siegrist

Max Maurer

Chris Zurbrügg

Peter Reichert

Bernhard Truffer

Support

Thomas Lichtensteiger

Anke Poiger

Gabriel Piepke

Gabriele Mayer

Max Mauz

Max Reutlinger

Bas den Brok

Joerg Klausen

Ökotoxzentrum

Rik Eggen (Eawag) und **Christof Holliger** (EPFL), Leitung a.i.

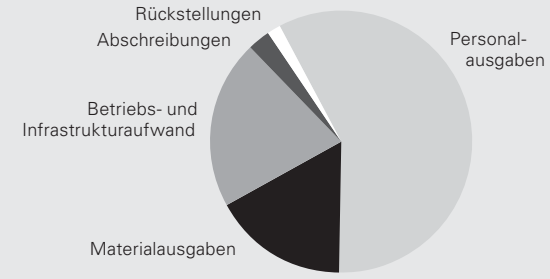
Finanzen

Erfolgsrechnung	2007	2008	2009
Personal	37 868 533	39 498 230	39 278 708
Material	3 260 866	3 693 473	11 426 136
Betriebs- und Infrastrukturaufwand	13 491 879	13 049 526	14 011 009
Abschreibungen	1 082 462	1 315 815	1 896 647
Rückstellungen	296 041	5 780 247	1 001 944
Aufwand	**55 999 781**	**63 337 291**	**67 614 444**
Bundesbeitrag	38 491 577	54 429 850	47 596 574
Drittmittel	11 564 156	11 237 615	11 068 789
Diverse Erlöse	1 655 624	935 584	1 238 918
Ertrag	**51 711 357**	**66 603 049**	**59 904 281**
Ergebnis	**–4 288 424**	**3 265 758**	**–7 710 163**

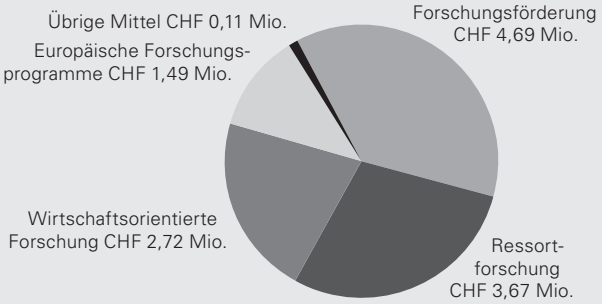
alle Zahlen in CHF

Investitionen	15 823 645	3 849 680	10 786 584
Immobilien	13 890 051	1 484 507	8 462 580
Mobilien	1 663 563	2 047 665	1 953 614
Informatik	270 031	317 508	370 390

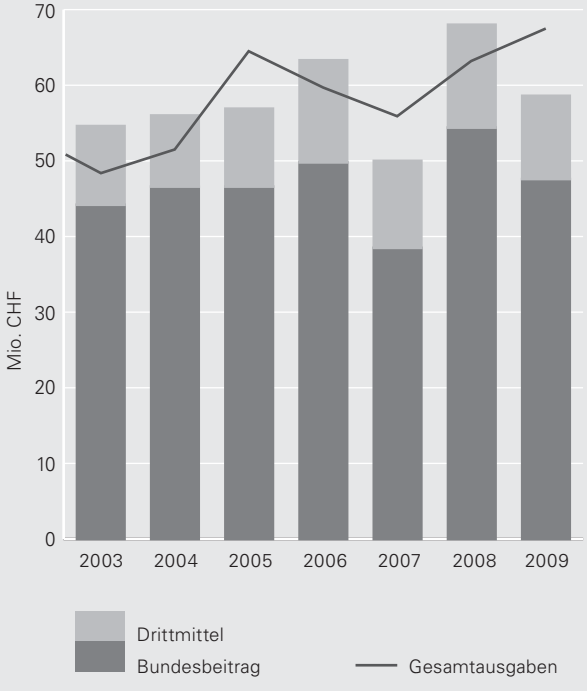
Ausgabenverteilung 2009



Drittmittel 2009



Entwicklung 2003–2009

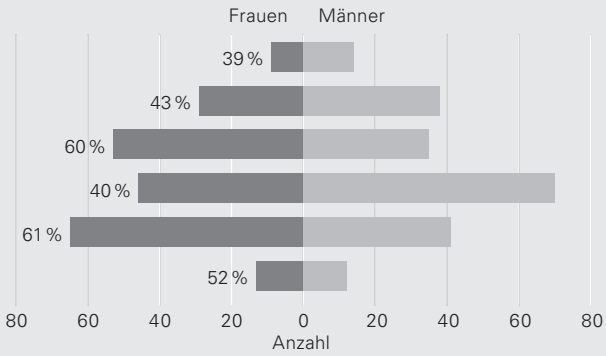


Personen

Personal	Personen insgesamt	Frauen	Ausländer/ innen	Vollzeit- äquivalent
Ordentliche Professorinnen und Professoren [1]	9	1	3	9
Assistenz- und Titularprofessorinnen und -professoren	14	2	4	14
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	152	57	77	137
Doktorandinnen und Doktoranden	87	46	49	86
Technisches Personal	80	41	12	67
Administratives Personal	65	57	12	45
Lernende	26	12	3	26
Total	433	216	160	384
Mitarbeitende Eawag-Empa-Kinderkrippe	19	17	1	17
Praktikantinnen und Praktikanten [2]	47	19	34	46

[1] 8 davon sind nicht oder nicht direkt von der Eawag angestellt
[2] Unterschiedlich lange Anstellungsdauern

Altersstruktur	Frauen	Männer	Total
60–65	9	14	23
50–59	29	38	67
40–49	53	35	88
30–39	46	70	116
20–29	65	41	106
15–19	13	12	25
Total	**215**	**210**	**425**
	(50,6 %)		



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49 %	14	10	24
50–79 %	47	7	54
80–99 %	35	16	51
100 %	119	177	296

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	137	130	267
EU-Länder	53	69	122
Übriges Ausland	25	11	36

Aktivitäten

	2007	2008	2009
Betreute Dissertationen	108	119	111
Betreute Diplomarbeiten	108	97	109
Publikationen in referierten Zeitschriften	202	253	232
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	55	55	114
Spin-offs	–	1	–
Patente, Lizenzverträge	1	–	–
Dienstleistungsaufträge	28	31	24
Preise	19	12	19
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	75	81	82
Lehrveranstaltungen andere universitäre Hochschulen	39	52	41
Lehrveranstaltungen Fachhochschulen	4	2	6
Peak-Kurse (Weiterbildung)	5	4	5
Fachtagungen	54	39	53
Mitarbeit in Kommissionen	216	178	184

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. Unter http://library.eawag-empa.ch/eawag_publications.html finden Sie eine Datenbank mit allen Eawag-Publikationen samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel. Darin enthaltene «Open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden. Die Suche ist nach Autor, Titel oder Stichwort möglich. Bei Problemen: library@eawag-empa.ch

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

Impressum

Konzeption, Redaktion und nicht gezeichnete **Texte:** Andri Bryner, Eawag
Mitarbeit:
Seite 11: Maja Schaffner, ETH-Life
Seiten 14, 24, 38: Annette Ryser, Sprachwerk, Zürich
Seite 21: Beat Jordi, Biel
Seiten 19, 27, 30, 31: Martina Bauchrowitz, Eawag
Seite 36: Franziska Meister, Zürich

Alle nicht gezeichneten **Fotos:** Eawag
Seite 2: ETH Zürich, Susi Lindig
Seiten 29 (Nr. 4, 5, 9), 40, 41 und Umschlag: Stefan Kubli, Zürich

Grafiken: Yvonne Lehnhard, Peter Nadler
Gestaltungskonzept: TBS Identity, Zürich
Layout: SLS Nadler, Fällanden
Druck: Mattenbach AG, Winterthur
Copyright: Eawag, Mai 2010
Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2009».
Belegexemplare an:
Eawag, Kommunikation, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz

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

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

eawag
aquatic research

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