

# Jahresbericht 2004





Die Eawag ist eine der vier selbstständigen Forschungsinstitutionen des ETH-Bereichs. Sie befasst sich – national verankert und international vernetzt – mit Konzepten und Technologien für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Wasser und den Gewässern. In Zusammenarbeit mit Hochschulen, weiteren Forschungsinstitutionen, öffentlichen Stellen, der Wirtschaft und mit NGOs trägt die Eawag dazu bei, ökologische, wirtschaftliche und soziale Interessen an den Gewässern in Einklang zu bringen. Sie nimmt damit eine Brückenfunktion wahr zwischen Wissenschaft und Praxis.

An den Standorten Dübendorf (Zürich) und Kastanienbaum (Luzern) sind insgesamt 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tätig in Forschung, Lehre und Beratung. Seit 1936 stand «EAWAG» als Abkürzung für «Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz». Heute wird diese schwerfällige Bezeichnung den komplexen Fragestellungen rund um das Wasser nicht mehr gerecht. Für das Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs ist Eawag daher zum Eigennamen geworden.

#### Titelbild

Regenwetter in der Stadt (Obergasse/Winterthur). Regenwasser wird bis heute vielerorts über die Kanalisation «entsorgt». Um Problemen in den Kläranlagen aus dem Weg zu gehen, wurde viel Geld in Hochwasserentlastungen und Regenrückhaltebecken investiert – nicht überall mit dem gewünschten Erfolg. Im transdisziplinären Projekt Storm hat die Eawag neue Planungskonzepte entwickelt für Massnahmen, welche den Schutz der Gewässer vor Abwassereinleitungen ebenso sicherstellen wie einen möglichst wirksamen Einsatz von knappen Mitteln.

Bild: Andri Bryner. Artikel: Seiten 6–11.

# Inhalt

---

2 Wort des Direktors

---

**4–23 Siedlungswasserwirtschaft**

6 Schwerpunkt: Neuer Umgang mit Abwasser bei Regenwetter

**24–37 Aquatische Ökosysteme**

**38–51 Chemikalien und Effekte**

---

52 Höhepunkte 2004

58 Alexander J. B. Zehnder

60 Von Anfängen und Enden (Peter Baccini)

62 Personalvertretung, Medienarbeit

63 Umweltschutz an der Eawag

64 Organigramm

66 Finanzen

67 Personen

68 Aktivitäten

---

# Schwerpunkte für das Wasser



**Vieles hat sich 2004 an der Eawag und in ihrem Umfeld bewegt. Neue wissenschaftliche Kompetenzen sind hinzugekommen, wir wollen thematische Schwerpunkte fördern und kommunizieren, gehen verstärkt Partnerschaften ein und optimieren die internen Strukturen.** Ueli Bundi

Hervor sticht im Jahr 2004 sicher der Weggang von Direktor Alexander Zehnder. Nach zwölf Jahren erfolgreichen Wirkens an unserer Institution hat er am 1. Juli 2004 die neue Herausforderung als Präsident des ETH-Rates angenommen. Seither leite ich die Eawag ad interim. Die Suche nach einer neuen Direktorin oder einem neuen Direktor ist im Gange und wir wünschen uns einen baldigen, erfolgreichen Abschluss.

## Zusammenarbeit im ETH-Bereich

Per 1. April 2005 tritt auch René Schwarzenbach aus der Direktion aus. Wir haben deshalb in die Wege geleitet, dass die Direktion wieder erweitert wird. Die drei neuen Mitglieder – Rik Eggen, Peter Reichert und Bernhard Wehrli – sind vom ETH-Rat im März 2005 gewählt worden. René Schwarzenbach danke ich herzlich für seine langjährigen, wichtigen Beiträge zur Entwicklung der Eawag. Als Departementsvorsteher an der ETH Zürich wird er unser Gebiet weiterhin mitprägen und wir freuen uns, mit ihm zusammen die umweltwissenschaftliche Zusammenarbeit im ETH-Bereich fördern zu können.

Die Stärken der Forschungsanstalten des ETH-Bereichs liegen in der themenorientierten Forschung. Dabei wird auf hohem wissenschaftlichem Niveau Grundlagenforschung verbunden mit Technologieentwicklung, Problemlösung und intensiven Wechselwirkungen mit der Praxis. Um diese Stärken in Verbindung mit den ETH noch besser zu nutzen, hat der ETH-Rat die Bildung von Kompetenzzentren in gesellschaftlich wichtigen Themenbereichen in Auftrag gegeben. Die Eawag wird sich massgeblich am Zentrum «Umwelt und Nachhaltigkeit» beteiligen. Zudem werden die vier Forschungsanstalten Empa, WSL, PSI und Eawag in strategischen und operativen Belangen noch stärker zusammenarbeiten.

## Prioritäten sind gesetzt

Um die Diskussion zur Zukunft der Eawag besser zu verankern, setzte die Direktion schon 2003 eine Planungsgruppe ein. Diese hat 2004 drei zentrale Handlungsfelder definiert: Aquatische Ökosysteme, Siedlungswasserwirtschaft sowie Chemikalien im Wasser und ihre Effekte. In diesen Feldern wollen wir national und international eine wissenschaftliche Führungsrolle einnehmen. Intern bilden sie Plattformen zur Fokussierung der umsetzungsorientierten Forschung und Lehre.

Organisatorisch werden die Abteilungen Umwelanalytik, Problemstoffe, Mikrobiologie und Ökotoxikologie sowie Wasser und Landwirtschaft umgruppiert, und zwar zu den neuen Abteilungen Umwelt-Chemie, Umwelt-Mikrobiologie und Umwelt-Toxikologie.

Im Juni 2004 nahm in Kastanienbaum die Abteilung Fischökologie und Fischevolution (Fishec) ihre Tätigkeit auf. Sie wird von Ole Seehausen geleitet, der gleichzeitig Professor für Aquatische Ökologie an der Universität Bern ist. Jukka Jokela wird Professor für Aquatische Ökologie an der ETH Zürich und Leiter der Eawag-Abteilung Limnologie. Die Leitung der Abteilung Umwelt-Chemie wird im September 2005 von Juliane Hollender übernommen werden. Ein Berufungsverfahren für die Professur für Mikrobiologie – verbunden mit der Leitung der Eawag-Abteilung Umwelt-Mikrobiologie – ist im Gange.

## Ein Schaufenster für Eawag-Mission

Am 20. Oktober 2004 wurde der Grundstein gelegt zum «Forum Chriesbach» in Dübendorf. Das Gebäude soll im Mai 2006 in Betrieb genommen werden. Mit seiner Architektur und seiner zukunftsweisenden Nachhaltigkeit wird es im Areal Empa/Eawag ein markantes Zeichen setzen. Die Eawag erhält ein modernes Ausbildungs- und Begegnungszentrum und ein Schaufenster für ihre Mission. Die neue, gemeinsam mit der Empa betriebene Bibliothek verdeutlicht das gute Zusammenwirken unserer Institutionen.

Die dynamische Entwicklung der Eawag – unter anderem auch sichtbar in unserem neuen Erscheinungsbild – wird von vielen mitgetragen. Der ETH-Rat und sein Stab unterstützen uns wohlwollend

und die Beratende Kommission steht uns mit wertvollen Ratschlägen und kritischer Reflexion zur Seite. Ihre Leitung wurde von André Bachmann übernommen. Für Peter Donath ist neu Günter Fritz der Kommission beigetreten. Danken möchte ich auch den Kollegen der Direktion und der Planungsgruppe. Ihr Eintreten für die Eawag und ihre Kollegialität machen es möglich, die vielfältigen Herausforderungen zu bewältigen und die Eawag weiter zu fördern.

Den Mitgliedern der alten Personalvertretung gilt mein Dank für ihr langjähriges Engagement und die kritische, aber immer aufbauende Zusammenarbeit. Den Ende 2004 neu Gewählten wünsche ich Freude in ihrer wichtigen Tätigkeit. Den Angestellten und dem Vorstand der IG-Personalrestaurant ist es zu verdanken, dass unsere Cafeteria einen gern besuchten Treffpunkt bildet. Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern spreche ich meine grosse Anerkennung dafür aus, dass sie auch 2004 mit ihren Kompetenzen und mit enormem Engagement viel für das Wasser und die starke Ausstrahlung der Eawag geleistet haben.

○ ○ ○

**Die Stärke der Eawag ist es, die Grundlagenforschung und das Lösen aktueller Probleme in Zusammenarbeit mit der Praxis zu verbinden.**



# Wasser

## Siedlungswasserwirtschaft

# Sied

**Die Eawag entwickelt moderne, Ressourcen schonende Strategien und Technologien für die Wasserversorgung und den Umgang mit Abwasser in Industrie- und Entwicklungsländern. Nebst den technisch-naturwissenschaftlichen Fragen werden verstärkt auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte einbezogen.**

# gehört

Die Eawag erarbeitet und bewertet siedlungswasserwirtschaftliche Alternativen. Sie entwickelt Systeme und Technologien, mit denen sich Probleme möglichst an der Quelle vermeiden lassen. In einem von langlebigen Investitionen geprägten Bereich befasst sie sich zudem mit Übergangsszenarien (Transition Management) für grundlegende Umorientierungen. Die Forschungsarbeiten sind ausgerichtet auf die Bedürfnisse der Schweiz und anderer Industrieländer. Gleichzeitig engagiert sich die Eawag auch für die Lösung wasserwirtschaftlicher und siedlungshygienischer Probleme in Entwicklungsländern.

### **Technologie und Organisation für die Zukunft**

Eine 2004 an der Eawag erstellte Umfeldanalyse erwartet, dass sich in der Siedlungswasserwirtschaft ein Umbruch abzeichnet: Bis vor kurzem befasste sich die Disziplin fast ausschliesslich mit technisch-sachwissenschaftlichen Fragen und deren operationellen Lösungen. Die Optimierung von Methoden zur Trinkwasseraufberei-

tung oder die Verbesserung der Reinigungsleistung in Kläranlagen sind Beispiele dazu. Vermehrt einbezogen wurden die Naturwissenschaften, haben doch sowohl die Wassernutzung als auch die Einleitung von Abwasser wesentlichen Einfluss auf die natürlichen Gewässer.

Seit einigen Jahren setzt sich nun die Siedlungswasserwirtschaft verstärkt mit den Ressourcen sowie mit den Konsumentinnen und Konsumenten auseinander. Sie stellt sich als Dienstleisterin dem Markt, denn Kosteneffizienz und Wettbewerb spielen eine immer wichtigere Rolle. Das «Womit?» ist ebenso bedeutend geworden wie das «Wie?». Für die Forschung an der Eawag bedeutet das, dass zusätzlich zu den technischen Fragestellungen neue Schwerpunkte gesetzt werden. Dazu zählen unter anderem die Entscheidungsvorbereitung, etwa der Umgang mit Unsicherheiten, oder Organisationsfragen, etwa rund um Regionalisierungen oder Liberalisierungen. Intensiv befasst sich die Eawag zudem mit Ressourcen schonenden Massnahmen an der Quelle, dezentral einsetzbaren Verfahren und der Separierung der Abwasserflüsse.

# im lungengs-

## Von der SAC-Hütte bis nach Bangkok

Der Bericht zum Projekt «Storm» (Neuer Umgang mit Abwasser bei Regenwetter, Seite 6) zeigt deutlich, dass ein Problem allein mit technischen Richtlinien nicht gelöst werden kann. Eine differenzierte Situationsanalyse und eine Planung, die möglichst keine Aspekte ausklammert, führen dabei nicht nur zu einer geringeren Belastung der Umwelt, sondern weisen schliesslich auch ökonomische Vorteile auf. Das in enger Zusammenarbeit mit Verbänden und Behörden erarbeitete Verfahren zeigt aber auch, dass Ingenieurinnen und Ingenieure sowie die Mitarbeitenden der Gewässerschutzfachstellen vor neuen Herausforderungen stehen. Nicht zuletzt zählt der Umgang mit Unsicherheiten dazu.

Dort, wo der Anschluss an eine Schwemmkanalisation nicht möglich oder nicht sinnvoll ist, setzt der Beitrag über die Entsorgung von Fäkalschlamm an («Bitte spülen!» gibt es vielerorts nicht, Seite 13). Mit lokalen Partnern hat die Eawag in Bangkok, Ghana und Brasilien nachgewiesen, dass Fäkalschlämme mit einfachen Mitteln hygienisch einwandfrei aufbereitet werden können. Da-

mit werden nicht nur wertvolle Ressourcen und die Umwelt geschont, sondern kann auch die Siedlungshygiene lebenswichtig verbessert werden.

Die beiden Artikel über die Toiletten der Alpenclub-Hütten (Seite 16) und die Qualität von Dachabwasser (Seite 17) sind Beispiele dazu, wie mit Massnahmen an der Quelle Probleme auf ganz unterschiedliche Art vermieden werden können. Die Berichte zur Ozonierung von Trinkwasser in besonderen Situationen (Seite 18) und zu den Abläufen in Kläranlagen mit Nitrifikationsstufe (Seite 23) machen deutlich, dass in der Optimierung bestehender Verfahren weiterhin Potenzial steckt. Dasselbe gilt auch für eine umsichtige Planung von Messkampagnen (Chemikalien in der Kanalisation, Seite 20) und das Aufspüren von Kanalisationslecks mit Tracermethoden (Seite 21) – beides sorgt für präzisere Resultate und spart unnötige Ausgaben. Unter dem Stichwort nachhaltige Nutzung von Ressourcen können schliesslich die Beiträge zur Aufbereitung von Urin als Dünger (Seite 19) und zur Wärmerückgewinnung aus Abwasser (Seite 22) zusammengefasst werden.



# Neuer Umgang mit Abwasser bei Regenwetter

**Es ist bei Regenwetter nicht möglich, das Schmutzwasser und zusätzlich alles Abwasser von Dächern und Strassen zurückzuhalten. Weil aber auch die Kläranlagen nicht für solche Abflussspitzen ausgelegt sind, belastet ein Teil dieses Mischwassers die Gewässer. Im Projekt Storm hat die Eawag zusammen mit dem Buwal und dem Verband Schweizer Abwasserfachleute (VSA) neue Planungsgrundsätze erarbeitet für den Umgang mit Abwassereinleitungen bei Regenwetter. Das Vorgehen berücksichtigt nicht nur die lokale Situation, sondern auch Unsicherheiten und wirtschaftliche Aspekte.** Vladimir Krejci, Luca Rossi, Simon Kreikenbaum, Rolf Fankhauser

Die bisherige Planung von Massnahmen zum Schutz der Gewässer vor Abwassereinleitungen aus Kanalisationen basiert auf den bald 30 Jahre alten «Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken» des Bundes (Afu, 1977). Wie der Titel der Empfehlungen andeutet, ist das Spektrum der Massnahmen stark eingeschränkt. Zudem haben sich die Kenntnisse und die rechtlichen Rahmenbedingungen seit 1977 in vielen Belangen weiterentwickelt. Nach der heutigen, integralen Betrachtungsweise in der Siedlungsentwässerung sollen Massnahmen anhand von abgestimmten Kriterien gewählt werden. Nebst den technischen Aspekten werden auch gesellschaftliche, ökologische und ökonomische Ansprüche mit berücksichtigt. Diese Art der Massnahmenplanung wird sowohl von den geltenden Vorschriften (Gewässerschutzgesetz 1991 und Gewässerschutzverordnung 1998) als auch von planerischen Instrumenten wie der Generellen Entwässerungs-

planung und der Regionalen Entwässerungsplanung verlangt. Sie stellt aber eine komplexe und anspruchsvolle Aufgabe dar.

## Eine neue Massnahmenplanung

Die zukünftige Massnahmenplanung soll der Methode der «rollenden Planung» folgen, welche der Strategie der «Integrierten Siedlungsentwässerung» entspricht (VSA, 1988, ATV-DVWK, 2003). Konkret bedeutet dies die schrittweise Realisierung von problemorientierten und lokal-spezifischen Massnahmen, Erfolgskontrolle der Massnahmen bezüglich Leistung und Kosten sowie einen allfälligen Entscheid über weitere Schritte (Abb. 1). Durch diese Vorgehensweise können Fehlinvestitionen vermieden werden.

Mit kurzfristigen Erfolgskontrollen werden Kosten und Wirksamkeit von Massnahmen für die vorgegebenen Nutzungsziele optimiert. Langfristige Erfolgskontrollen dienen zudem dazu, die gesellschaftlichen Nutzungsziele und die ökologischen Anforderungen an die sich ändernden Gegebenheiten anzupassen, etwa an neue wissenschaftliche Erkenntnisse oder an den aktuellen Stand der Technik.

Oben: Während andere Forscherinnen und Forscher für ihre Probenahmen auf schönes Wetter warten, mussten die am Projekt Storm Beteiligten bei Regenwetter an diesen Bach eilen (Bild: Eawag).

Unten: Typischer Mischwassereinlauf in ein Gewässer im Siedlungsraum. Wie stark er das Gewässer belastet, hängt von sehr vielen Faktoren ab (Bild: Cexotox, EPFL Lausanne).

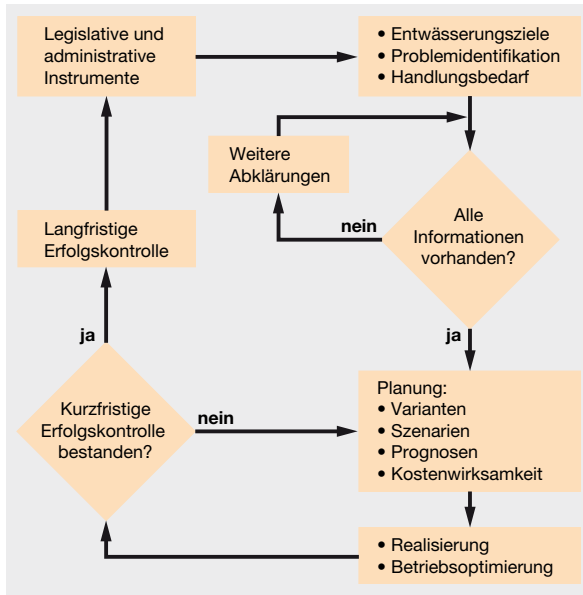


Abb. 1: Das Prinzip der rollenden Planung.

Die wichtigsten Säulen dieser Planung sind:

- ▶ problemorientierte, lokalspezifische und quantitativ definierte Kriterien für Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter,
- ▶ quantitative Informationen über die Unsicherheiten bei der Massnahmenplanung,
- ▶ Berücksichtigung der Kosten und der Wirkung von Massnahmen in den ersten Planungsphasen,
- ▶ systematische Erfolgskontrolle der realisierten Massnahmen.

### Das Projekt Storm

Die zentrale Aufgabe des Projektes Storm war die Erarbeitung von konzeptuellen Grundlagen zur Planung von Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter. Diese Informa-

tionen werden bei der Bearbeitung einer neuen VSA-Richtlinie verwendet, welche die bisherigen Richtlinien (insbesondere AfU, 1977) auf diesem Gebiet ersetzen soll. Das Projekt wurde in folgende Bereiche gegliedert:

- ▶ Festlegung eines Konzeptes für die Planung von Massnahmen im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter,
- ▶ Definition der Anforderungen an die Einleitungen,
- ▶ Entwicklung eines Verfahrens für die quantitative Bewertung der Unsicherheiten in der Massnahmenplanung,
- ▶ Entwicklung eines Simulationsprogrammes zur Unterstützung der Massnahmenplanung,
- ▶ Bearbeitung von Hinweisen für die Wahl von Massnahmen zur Behandlung von Abwassereinleitungen,
- ▶ Dokumentation der Massnahmenplanung in ausgewählten Bereichen der stofflichen, physikalischen und hygienischen Gewässerbeeinträchtigung bei Regenwetter,
- ▶ Anwendung des vorgeschlagenen Planungsverfahrens in einer Fallstudie.

Das Projekt wurde im Frühling 2001 begonnen und im Herbst 2004 abgeschlossen. Das Projektteam wurde während der Bearbeitung intensiv von einer Expertenkommission (Vertreter aus Buwal, Eawag/ETHZ, VSA, Kanton Aargau und Universität Innsbruck) begleitet. Zahlreiche Informationen konnten von weiteren Schweizer Institutionen gewonnen werden (Kantonale Gewässerschutzfachstellen, Ingenieurbüros und EPF Lausanne).

### Belastungen differenzieren

Im Hinblick auf die Planung von Massnahmen ist eine Gewässertypisierung (Gewässertyp, Nutzung etc.) sinnvoll, da die Beeinträchtigung durch die Abwassereinleitungen nicht für alle Gewässer gleich bedeutend ist. Die festgelegten Anforderungen berücksichtigen neben den gesetzlichen Vorschriften auch die Bedeutung der einzelnen Arten der Gewässerbeeinträchtigung unter Schweizer Verhältnissen. Soweit wie möglich sind sie als Immissionsgrenzwerte definiert worden (Tabelle).

Gewässertyp	Gewässerschutzprobleme							
	Ästhetik	Hygiene (Mikroorgan.)	Temperatur	Mech.-hydraul. Stress	Chemische Parameter			
					NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	TSS Sedim.	TSS Trübung	Nährstoffe
Quellregion	+ / E	o / l	o / l	+ / l	+ / l	+ / l	+ / l	x
kleiner Mittellandbach	+ / E	o / l	o / l	+ / l	+ / l	+ / l	+ / l	x
kleiner Voralpenbach	+ / E	o / l	x / l	+ / l	+ / l	o / l	+ / l	x
grosser Mittellandbach	+ / E	+ / l	x	o / l	o / l	+ / l	+ / l	x
grosser Voralpenbach	+ / E	+ / l	x	o / l	o / l	x	+ / l	x
grössere Fliessgewässer	+ / E	+ / l	x	x	x / l	x	x	o / l
kleiner See (Weiher)	+ / E	+ / l	x	x	x	+ / l	x	+ / l
grosser See	+ / E	+ / l	x	x	x	+ / l	x	+ / l

Übersicht ausgewählter Gewässerschutzprobleme im Zusammenhang mit Kanalisationseinleitungen bei Regenwetter und ihre Bedeutung in der Schweiz.

Häufigkeit des Auftretens: + = häufig, o = gelegentlich, x = bisher nicht festgestellt

Relevanz in der Schweiz: (dunkelorange) bedeutend, (hellorange) eventuell bedeutend, (grau) unbedeutend

Art der im Rahmen des Projektes Storm vorgeschlagenen Anforderungen/Grenzwerte: E = Emission, l = Immission

**Ammoniak:** Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) steht im Vordergrund bei akuten stofflichen Beeinträchtigungen von kleineren Fliessgewässern. Die kritische Schwelle wurde aus der Beziehung zwischen der Konzentration, der Dauer und der Häufigkeit der Belastung abgeleitet.

**Feinstoffe:** Partikuläre Verunreinigungen, auch als GUS (gesamte ungelöste Stoffe) bezeichnet, können die Gewässer in verschiedener Hinsicht beeinträchtigen: Die Partikel im Abwasser erhöhen die Wassertrübung, sie können zur Kolmation der Sohle führen und durch die adsorbierten Schadstoffe wirken sie auch toxisch. Daneben können die biologisch abbaubaren (organischen) Partikel einen Sauerstoffmangel im Sohlenbereich bewirken.

**Sauerstoff:** Die Sauerstoffproblematik in Fliessgewässern ist in der Schweiz in der Regel nicht bedeutend. Dennoch werden Zielwerte für gelösten Sauerstoff definiert, da Sauerstoffmangel in stauregulierten Fliessgewässerabschnitten und als Folge der Erosion von anaeroben Sedimenten auch in der Schweiz nicht ausgeschlossen werden kann. Im Hinblick auf diese Problematik wurden wissenschaftlich fundierte Grenzwerte aus dem Ausland verwendet.

**Nährstoffe:** Für die Nährstoffbelastung sind vor allem die zulässigen Phosphor-Jahresfrachten zu klären. Zur Festlegung dieser Emissionen müssen alle Phosphorquellen im Einzugsgebiet, inklusive Landwirtschaft, Kläranlagenabläufen etc., berücksichtigt werden.

**Hydraulik:** Die Grenzwerte der hydraulisch-mechanischen Beeinträchtigung der Fliessgewässer werden als Durchflusswerte bestimmt, die zur Erosion des Flussbettes führen können. Dieser Grenzabfluss wird anhand der Flussbettcharakteristik bestimmt, die tolerierbaren Häufigkeiten von Geschiebetriebereignissen aufgrund des ökomorphologischen Zustandes in der Umgebung der Kanalisationseinleitung.

**Temperaturerhöhung:** Die Beurteilung einer möglichen kurzfristigen Temperaturerhöhung in einem kleineren Fliessgewässer beruht auf Angaben über den physiologischen Stress bei Bachforellen. Die Angaben über die Abwassertemperaturen beruhen auf experimentellen Untersuchungen in der Schweiz.

**Hygiene:** Die Grenzwerte für die Bewertung der hygienischen Verhältnisse im Zusammenhang mit dem Baden basieren auf den «Empfehlungen für die hygienische Beurteilung von See- und Flussbädern» (Bundesamt für Gesundheit, 1991). Jede Mischwassereinleitung im Zustrombereich eines Badeplatzes gefährdet auch bei grosser Verdünnung des eingeleiteten Wassers im Fluss oder im See die Hygiene. Wohin das Schmutzwasser strömt, lässt sich oft nicht exakt bestimmen. Allerdings kann es sich bei Fliessgewässern um Distanzen von mehr als zehn Kilometer handeln, da die Überlebensdauer von pathogenen Keimen in Gewässern mehrere Tage betragen kann. Bei Seen sind die lokalen Strömungsverhältnisse massgebend. Beim Verdacht einer möglichen Beeinträchtigung

B. Jost, Avel



Grosse Mischwasserentlastungen, wie hier am Furtbach/ZH, können Gewässer stark beeinträchtigen.

ist eine gezielte und systematische Untersuchung der Badewasserqualität unmittelbar nach Regenereignissen erforderlich.

**Grobstoffe:** Für die Einleitung von Grobstoffen aus Regenüberläufen der Mischkanalisation gibt es keine Grenzwerte. Allerdings kann aus Beobachtungen hergeleitet werden, dass Mischwasserüberläufe, die weniger als fünf bis zehn Mal pro Jahr anspringen, in der Regel nur geringe ästhetische Probleme verursachen. In identifizierten Problemfällen sollten dennoch entsprechende Massnahmen auch bei seltenen Mischwasserüberläufen eingesetzt werden.

### Unsicherheit einplanen

Zur Massnahmenplanung werden in der Regel Modelle und Simulationsprogramme benutzt. Bei der Arbeit mit den Modellen müssen verschiedene Abstraktionen und Vereinfachungen der realen Situation vorgenommen werden. Das System Siedlungsentwässerung bei Regenwetter ist sehr komplex und verhält sich auch zeitlich hoch dynamisch. Die Vereinfachungen des Systems und der Prozesse führen deswegen zwangswise zu Unsicherheiten. Werden diese nicht berücksichtigt, täuscht die Prognose des Systemverhaltens eine Präzision vor, die mit der Realität nicht im Einklang steht.

Ein Weg, die Unsicherheiten zu quantifizieren, besteht darin, die herkömmlichen deterministischen Modelle zu stochastisch-probabilistischen Modellen zu erweitern.

Diese Erweiterung kann z. B. mittels einer Monte-Carlo-Simulationsroutine vorgenommen werden. Dabei werden die Unsicherheiten mathematisch mit Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen abgebildet, aus denen eine zufällige Stichprobe gezogen wird. Danach werden das Simulationsprogramm aufgerufen, die Resultate berechnet und das Vorgehen wird in einer Vielzahl von Durchläufen wiederholt. Es entsteht eine Kurvenschar von Resultaten, welche die Wahrscheinlichkeit darstellt, mit der ein Resultat eintritt (Abb. 2).

Diese Methode gibt den Gewässerschutzakteuren die Möglichkeit, die Unsicherheiten in der Planung zu quantifizieren, und die Freiheit, differenziert auf diese Unsicherheiten zu reagieren – namentlich im Hinblick auf die Kosten von Massnahmen. In einem Simulationsprogramm wurde im Projekt Storm berechnet, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Immissionsgrenzwerte bei bestimmten Unsicherheiten eingehalten werden. Eine Sensitivitätsanalyse erlaubt es den Mitarbeitenden, zum Beispiel im Rahmen eines Generellen Entwässerungsplans (GEP) den Einfluss der rund fünfzig Modellparameter auf die Resultate zu untersuchen und deren Wichtigkeit bei der Massnahmenplanung zu berücksichtigen.

### Fallbeispiel Möhlinbach

Zum Testen des vorgeschlagenen Planungsvorgehens wurden aktuelle Problemfälle gesucht. Es gelang, die Verfasser des Generellen Entwässerungsplans im Möhlintal (Aargau) und mehrere kantonale Fachstellen für die Mitarbeit an der Studie zu gewinnen. Die Resultate nach Vorschlägen aus dem Projekt Storm wurden mit den ursprünglichen GEP-Vorschlägen verglichen, welche auf den erwähnten Empfehlungen des Bundes von 1977 basieren. Dieser Vergleich dient als Grundlage für die Phase 3 des GEP (Vorprojekte).

Gemäss dem Storm-Verfahren kann im Vergleich zum GEP-Vorschlag auf die Klärbecken in Wegenstetten und Zuzgen verzichtet werden, und das Nutzvolumen des Klärbeckens in Zeiningen kann von 380 m<sup>3</sup> auf 200 bis 300 m<sup>3</sup> reduziert werden. Den kantonalen Anforderungen

entsprechend, sollen in Wegenstetten und in Zuzgen nun lediglich Havariebecken von 30 m<sup>3</sup> Nutzvolumen und Rechen zum Rückhalt von Grobstoffen realisiert werden. Die Massnahmen vor

der Kläranlage in Möhlin, zuunterst im Tal, müssten aufgrund der Immissionsanforderungen für den Rhein untersucht werden. Diese können momentan aber nicht objektiv definiert werden. Deswegen wurden Massnahmen gesucht, welche die Feststoffe im Mischwasser im Hinblick auf die Rhein-Staustrecke vor dem Kraftwerk Riburg-Schwörstadt möglichst kosteneffizient zurückhalten. Als

**Dank den neuen Wegen  
in der Planung rückt  
die Technik näher an  
die Umwelt.**

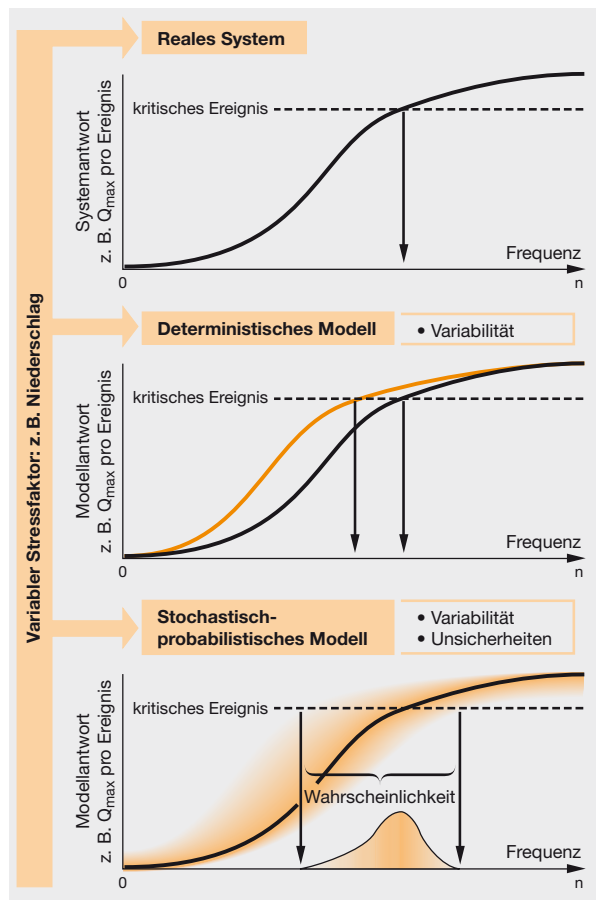


Abb. 2: Die Frequenz kritischer Ereignisse im realen und im modellierten System. Die Antwort im deterministischen Modell (orange Kurve) ist mit Unsicherheiten behaftet und weicht von der Realität ab. Im stochastisch-probabilistischen Modell ist diese Unsicherheit berücksichtigt. Das orange Feld gibt den Bereich möglicher Systemantworten an. Aus der integrierten Wahrscheinlichkeitsdichte (kleine Kurve in der untersten Grafik) lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Systemversagens ablesen – im Beispiel definiert als das Nichteinhalten von Anforderungen an die Abwassereinleitung.

optimale Variante hat sich ein Klärbecken mit Nutzvolumen von 500 m<sup>3</sup> herausgestellt. Zusätzlich kann auch das Speichervolumen von 970 m<sup>3</sup> in den davor liegenden Kanälen genutzt werden. Das erfordert in Möhlin bei etwas geringeren Unterhaltskosten zwar dieselben Investitionen wie die Massnahmen nach den alten Empfehlungen. In Bezug auf eine Verschlämzung und die Badewasserqualität in der Rhein-Staustrecke erfüllt die Storm-Variante aber das Vorsorgeprinzip wesentlich besser.

Die Resultate nach dem Storm-Verfahren wurden von den kommunalen und kantonalen Behörden akzeptiert und sollen in den nächsten fünf Jahren realisiert werden. Die vom GEP-Ingenieur ermittelten Ersparnisse an den

Investitionskosten gegenüber den ursprünglich geplanten Massnahmen gemäss AfU-Empfehlungen betragen rund 900 000 Franken.

Die Studie hat gezeigt, dass das vorgeschlagene Planungsverfahren praxistauglich ist. Gleichzeitig wurden jedoch verschiedene Probleme entdeckt oder bestätigt, für welche noch Verbesserungen nötig sind. Es handelt sich insbesondere um die Präzisierung der vorhandenen Grundlagen (vor allem um die «Zustandsberichte Gewässer» der Generellen Entwässerungsplanung) und um die Weiterentwicklung der Simulationsprogramme, die diese Planungsverfahren erst ermöglichen. Zu den offenen Fragen gehört auch die Interpretation der Unsicherheiten. Die numerische Bewertung der Unsicherheiten mit Wahrscheinlichkeiten ist neu und momentan gibt es auf diesem Arbeitsgebiet erst wenige Erfahrungen im Umgang mit solchen Angaben.

### Anspruchsvollere Aufgaben

Im Anschluss an das Projekt Storm werden im Mai, September und November 2005 vom VSA mehrere Fortbildungskurse organisiert und die Projektresultate werden der Praxis vorgestellt. Gleichzeitig wird das Verfahren in weiteren Fallbeispielen getestet, und die Arbeiten an einer neuen VSA-Richtlinie, die 2006 eingeführt werden soll, haben begonnen.

Die neuen Aspekte der Massnahmenplanung, insbesondere die Immissionsanforderungen, die Berücksichtigung von Unsicherheiten und der Kostenwirksamkeit sowie das erweiterte Massnahmenspektrum stellten die Ingenieure und Mitarbeiter der Gewässerschutzfachstellen vor neue Herausforderungen. Insbesondere die Handhabung von Unsicherheiten ist für die meisten neu. Allerdings muss akzeptiert werden, dass die Massnahmenplanung in diesem Fachbereich sehr komplex ist und erst noch auf vielen unsicheren Annahmen basiert. Dazu Willy Gujer in einem Interview mit der Zeitschrift «Gas-Wasser-Abwasser» (11/2004): «Wir täuschen uns also selbst, wenn wir den aktiven Umgang mit der Unsicherheit in unserer Arbeit ablehnen. Da dieser Umgang vorerst neu ist, wird er die Praxis verunsichern, daran besteht kein Zweifel. Haben wir aber einmal gelernt, mit der Unsicherheit umzugehen, so sehe ich darin auch eine Chance, indem im Rahmen der Unsicherheiten auch ein grösseres Spektrum von Lösungen erarbeitet und bewertet werden kann.»

Die Bearbeitung der Planungsaufgaben wird anspruchsvoller. Der Aufwand nimmt zu. Gleichzeitig wird die Arbeit



Grobstoffe am Bachufer als Folge der Mischwassereinleitung.

für die Ingenieurinnen und Ingenieure aber auch interessanter und die Technik nimmt mehr Rücksicht auf die Umwelt. Dies muss in der Aus- und Weiterbildung berücksichtigt werden. Nicht jedes Ingenieurbüro wird den neuen Anforderungen ohne externe Unterstützung gewachsen sein.

Das längerfristige Denken ist auch im Hinblick auf die höheren Planungskosten wichtig. Die Wirtschaftlichkeit eines Projektes muss über die gesamte Lebensdauer der erarbeiteten Lösung betrachtet werden. Dies bedeutet auch ein Umdenken bei vielen Auftraggebern, die häufig vergessen, dass einer ungenügend fundierten Planung fast zwingend eine unwirtschaftliche Lösung folgt.

Das von den Storm-Projektbeteiligten vorgeschlagene Verfahren stellt einen wichtigen Schritt dar in der umweltgerechten Planung. In den Erfolgskontrollen müssen nun zusätzliche Erkenntnisse gewonnen werden. Und bereits laufen weitere Forschungsarbeiten an der Eawag – sowohl zur Verbesserung der Methodik als auch zum vertieften Verständnis der Prozesse. ○ ○ ○

AfU (1977): Empfehlungen für die Bemessung und Gestaltung von Hochwasserentlastungen und Regenüberlaufbecken. Eidgenössisches Amt für Umweltschutz, Bern.

Von den Autoren Krejci V., Fankhauser R., Kreikenbaum S., Rossi L. sowie Boller M., Güde H., Gujer W., Hari R., Hoehn E., Rauch W., Schmid H. und Suter K. sind 2004 in den Ausgaben 6 und 8 bis 11 der Zeitschrift GWA im Zusammenhang mit dem Projekt Storm insgesamt 11 Artikel erschienen.

Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S. und Rossi L.: Gewässerbelastung durch Abwasser aus Kanalisationen bei Regenwetter, Eawag und Buwal, 2004, 37 Seiten ([www.rebeka.ch](http://www.rebeka.ch)).

Storm: Der Name für das transdisziplinäre Projekt geht auf das englische Wort «Storm» für Starkregen/Gewitter zurück.



# Bitte spülen!

## gibt es vielerorts nicht

**Alle 15 Sekunden stirbt in einem Entwicklungsland ein Kind an den Folgen einer Magen-Darm-Erkrankung. Dies entspricht zwei Millionen Todesfällen pro Jahr. Wichtigste Ursachen dieser stillen Tragödie sind der Mangel an geeigneten Toiletteneinrichtungen, die unregelmäßige Entsorgung der Fäkalschlämme, die ungenügende Wasserversorgung und mangelnde Hygiene. Die Eawag hat kostengünstige Verfahren entwickelt für die nachhaltige Bewirtschaftung von Fäkalschlämmen.** Martin Strauss

### Grubensysteme statt Schwemmkanalisation

40 bis 60 % der Stadtbewohner in Entwicklungsländern haben keinen Zugang zu sanitär vertretbaren Toilettenanlagen, und rund 2,5 Milliarden Menschen benutzen Grubensysteme für die Fäkalienentsorgung. Diese Zahl wird weiter zunehmen, weil die Erhöhung des Anschlussgrades aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nur für eine Minderheit der wachsenden Bevölkerung mit Schwemmkanalisation bewerkstelligt werden kann. Entsprechend nehmen auch die Mengen an Fäkalschlamm zu, welche eingesammelt, transportiert und aufbereitet werden müssen. In einer Einmillionenstadt fallen je nach Anteil der Grubeninstallationen täglich 300 bis 600 Tonnen Schlamm an, was städtische Behörden, Haushalte, Entsorgungsfirmen und Anlagebetreiber vor enorme Herausforderungen stellt.

### Gefährliche Krankheitsherde

Die Erreger von Magen-Darm-Krankheiten wie Rotaviren, die bedeutendsten Durchfallverursacher bei Kleinkindern, Salmonellen, Amöben und Wurmeier werden mit den Fäkalien – fast ausschließlich im Stuhl – ausgeschieden (siehe Tabelle 1). Dies führt in Entwicklungsländern, wo ein hoher Prozentsatz der Bevölkerung in den ärmeren städtischen Quartieren unter Magen-Darm-Krankheiten leidet, dazu, dass unkontrolliert entsorgte Fäkalschlämme zu gefährlichen Krankheitsherden werden. Verbesserte Fäkalienentsorgung muss deshalb darauf zielen,

- ▶ dass die eingesammelten Fäkalschlämme an den richtigen Ort gelangen und fachgerecht aufbereitet statt illegal deponiert werden und
- ▶ dass die Schlämme mit kostengünstigen Verfahren zu einem hygienisch unbedenklichen Humusbildner und Dünger aufbereitet werden, um Nährstoffe und organisches Material landwirtschaftlich nutzen zu können.



M. Strauss

Abb. 1: Absetzteich für die Vorbehandlung von Faulkammerschlamm (Argentinien).



D. Koné

Abb. 2: Rohrkolbenbeete zur Vererdung von Faulkammerschlamm in Thailand. Die Rohre dienen der besseren Belüftung.

		A	B	C
Trockenrückstand	mg/l	15 300	52 500	≤1000
Suspendierte Stoffe	mg/l	11 000	49 000	200–700
Sauerstoffbedarf	mg/l	15 700	47 000	500–2500
Stickstoff	mg/l	415	3 300	30–70
Wurmeier	pro l	90	10 000–20 000	100–300

Tab. 1: Eigenschaften von A) Faulkammerschlamm (Bangkok), B) Schlamm aus Kammern öffentlicher Toiletten (Accra) und zum Vergleich C) häuslichem Abwasser in den Tropen.

	Abtrennung susp. Stoffe (SS)	Org. Verunreinigung im Flüssigteil	Parasiten (Wurmeier)
Absetzteiche/ Anaerobteiche (Abb. 1)	BSB <sub>5</sub> > 60–70 %	Gelöster BSB <sub>5</sub> ≥ 50 %	Im Absetz- und Schwimmschlamm konzentriert
Schlammvererdung (Abb. 2)	SS >80 % Feststoffzuwachs: 15–20 cm/Jahr	Weiterbehandlung zur zusätzlichen Entfernung von org. Verunreinigung, Nährstoffen und/oder Krankheitskeimen nötig	100 % im akkumulierten Absetzschlamm zurückgehalten. Entwässerter und vererdeter Schlamm hygienisch sicher
Ko-Kompostierung	Kompostreife nach 8–10 Wochen erreicht; Schwermetallgehalte des Komposts erfüllen Vorschriften in Industrieländern		Konzentration lebensfähiger Wurmeier liegt unterhalb internat. Richtwert

Tab. 2: Reinigungsleistung der Verfahren zur Behandlung von Fäkalschlämmen. BSB<sub>5</sub>: biologischer Sauerstoffbedarf.

Tabelle 1 zeigt durchschnittliche Werte für Eigenschaften von Faulkammerinhalten in Bangkok sowie für Schlämme aus abflusslosen Gruben öffentlicher Toiletten in Accra, Ghana. Die Konzentrationen der aufgeführten Parameter variieren sogar innerhalb derselben Stadt sehr stark. Für die Planung eines gesamten Fäkalschlamm-Management-Systems wie auch der Behandlungsanlagen ist deshalb eine umfassende Mengenermittlung und Beprobung der verschiedenen Fäkalschlämme unumgänglich. Die erforderlichen Aufbereitungsverfahren unterscheiden sich wesentlich von jenen für Abwasser.

### Am Ende bleibt Gemüsekompost

Die mit den Fäkalien ausgeschiedenen Krankheitskeime lassen sich mit einfachen Aufbereitungsverfahren wie Langzeitlagerung, natürliche Austrocknung und/oder Erhitzung bei der Heissrotte (Kompostierung) wirksam inaktivieren [1, 2].

Die Aufbereitung von Fäkalschlamm umfasst meist Prozesse, welche zu einer Trennung der im Schlamm enthaltenen suspendierten Stoffe vom Flüssigteil führt. Die Feststoffe können wie im Falle der Klärschlammbehandlung zu einem kompostähnlichen Produkt verarbeitet werden. Der aus Absetz- oder Filtrationsverfahren (Schlamm-trocken- und Vererdungsbeete) entstehende Flüssigteil, welcher CSB-Gehalte von bis zu 2000 mg/l aufweisen kann [3], muss nachbehandelt werden, damit die Einleitung in ein Gewässer möglich ist. Seines hohen Salzgehalts wegen ist dieser Flüssigteil für die Bewässerung nicht verwendbar. Die Hygienisierung konzentriert sich deshalb auf die Inaktivierung der in den Feststoffen enthaltenen Krankheitskeime. Wurmeier sind aufgrund ihrer langen Überlebensdauer die besten Indikatoren für die hygienische Qualität aufbereiteter Schlämme.

Tabelle 2 zeigt die Reinigungsleistungen für die drei Verfahren Absetz- und Anaerobteiche, Schlammvererdung sowie gemeinsame Kompostierung von Fäkalschlamm und organischen Abfällen. Sie sind das Ergebnis mehrjähriger Forschungszusammenarbeit mit Partnern in Argentinien, Ghana und Thailand. Die Verfahren funktionieren ohne mechanische Ausrüstung. Bei größeren Anlagen hingegen werden Schaufelbagger oder Krane zur Entfernung der eingedickten oder entwässerten Feststoffe aus den Vorbehandlungsstufen benötigt.

Die Hygienisierung von Fäkalschlamm kann an einer Pilotanlage für die gemeinsame Kompostierung von Schlamm und organischen Siedlungsabfällen in Kumasi, Ghana, gezeigt werden. Entwässerter Fäkalschlamm mit einem Wurmeiergehalt von 26–83 pro Gramm wurde im Verhältnis 1:2 mit organischen Siedlungsabfällen gemischt und kompostiert. Die Mietenumschichtung erfolgte alle 10 Tage. Der reife Kompost enthielt weniger als 1–3 lebensfähige Wurmeier pro Gramm Trockenrückstand. Dies

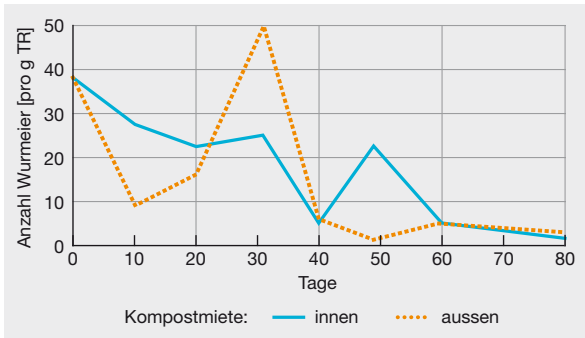


Abb. 3: Gesamtzahl an Spulwurm-Eiern (Askariden) in Kompostmieten aus Fäkalschlamm und organischen Abfällen. TR = Trockenrückstand

erlaubt eine risikolose Verwendung in der Landwirtschaft. Abbildung 3 zeigt die Gesamtkonzentration an Wurmeiern im Aussen- und Innenbereich der Kompostmieten [2]. Unsere Forschung im Bereich der Fäkalschlammbehandlung wird sich in nächster Zukunft vor allem mit der Weiterentwicklung der Schlammvererdung befassen. Es gilt, Lösungen zu finden, wie solche Systeme für die Behandlung von hochkonzentrierten, biochemisch wenig stabilisierten Schlämmen mit hohen Ammoniakgehalten anzupassen sind. Auch muss untersucht werden, inwiefern sich lokal vorkommende, für die Vererdung geeignete Makrophyten (Süss- und Sauergräser) einsetzen lassen.

**Anreizsystem gegen illegale Entsorgung**

Abbildung 4a zeigt beispielhaft das Netz von Akteuren und die Geldströme, wie sie in Städten mit mangelhaftem Fäkalschlammmanagement anzutreffen sind. Städtische Behörden spielen oft eine untergeordnete Rolle und die Schlämme werden illegal und unbehandelt entsorgt. Demgegenüber zeigt Abbildung 4b, wie die Geldflüsse und die Beziehungen der Akteure verflochten werden können, um die Schlammentsorgung nachhaltig zu betreiben. Ein marktwirtschaftliches Anreizsystem zur Verhinderung illegaler Entsorgung ist beispielsweise, die Unternehmen für die Schlammanlieferung zur Behandlungsanlage zu entschädigen, statt von ihnen eine Gebühr einzuziehen. Hierfür muss das Gebühren-, Preis- und Entschädigungssystem gesamthaft und mit der Beteiligung aller Akteure geplant werden.

**Gutes Geschäft für Kleinunternehmer**

Untersuchungen von Kleinunternehmen in Mali, Ghana und Burkina Faso ergaben, dass die Fäkalschlamm-einsammlung ein profitables Geschäft sein kann, wenn die Transportdistanzen zu den Behandlungsanlagen möglichst kurz sind und die von städtischen oder nationalen Behörden erhobenen Gebühren als Subvention, zum Beispiel für die Schaffung erschwinglicher Grubenentleerungsgebühren oder für Investitionen in die Schlamm-

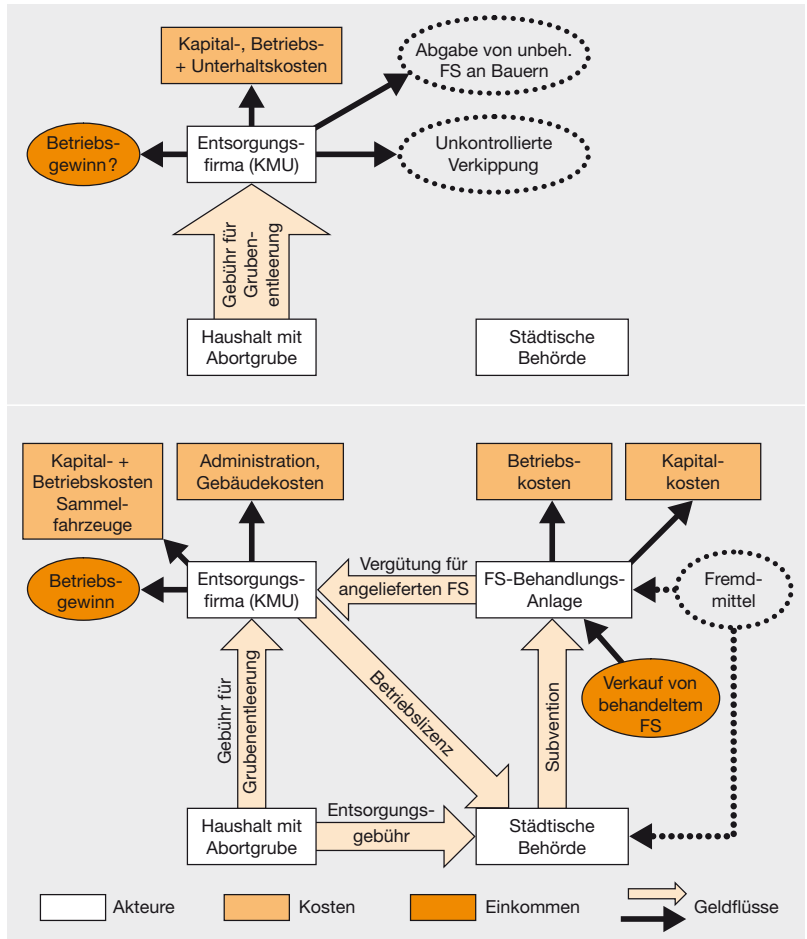


Abb. 4a und 4b: Geldströme und Beziehungsnetz der Akteure («Stakeholder») in der herkömmlichen Praxis (oben): Fäkalschlamm (FS) wird unkontrolliert entsorgt oder in der Landwirtschaft verwendet. Vorschriften und Anreizmechanismen fehlen oder werden nicht umgesetzt. 4b (unten): Szenario verbessertes Schlammmanagement: Fäkalschlamm wird aufbereitet. Die Behörde nimmt ihre Aufgabe wahr und setzt Vorschriften durch. Schlammanlieferer werden entschädigt, statt dass sie eine Gebühr entrichten müssen.

aufbereitung, zurückgeführt werden. In Ouahigouya, Burkina Faso, werden im Rahmen einer Doktorarbeit Methoden für einen erfolgreichen Einbezug der Akteure und zur akteurbezogenen Beurteilung von Szenarien für die verbesserte Fäkalschlammmentsorgung entwickelt sowie die beschriebenen Anreizmechanismen für Entsorgungsunternehmen getestet [4].

[1] Koné D., Strauss M. (2004): Low-cost Options for Treating Faecal Sludges (FS) in Developing Countries – Challenges and Performance. Proceedings, 9<sup>th</sup> International IWA Specialist Group Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control and to the 6<sup>th</sup> International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds, Avignon, 27 Sept. – 1 Okt.

[2] Koné D. et al. (2004): Efficiency of Helminth egg removal in dewatered faecal sludge by co-composting. Proceedings, 30<sup>th</sup> WEDC International Conference on People-centered approaches to water and environmental sanitation, Vientiane, Laos, 25–29 Okt.

[3] Koottatep T. et al. (2004): Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate – Lessons learnt after seven years of operation. Proceedings to Conferences of [1].

[4] Koanda H. et al. (2004): Urban Sanitation in Sub-Saharan Africa: How to Manage the Faecal Sludge Market in the Case of Ouahigouya, Burkina Faso. Research Forum on Water, Sanitation and Hygiene, CREPA; Ouagadougou, 6–10 Dec. [www.sandec.ch/FaecalSludge](http://www.sandec.ch/FaecalSludge)

# Keine Patentlösung für Hüttentoiletten

**Je nach Situation müssen im Hochgebirge unterschiedliche Toilettensysteme favorisiert werden. Eine Musterlösung für Berghütten gibt es nicht. Relativ gut schneiden Kompostier- und Trockentoiletten ab. Für grössere Hütten könnte eine Abwasseraufbereitung mit Membrananlagen sinnvoll sein.** Christian Abegglen

## Das Problem der meisten Systeme ist, dass sie die gelösten Stoffe nicht entfernen.

Der Umweltschutz geniesst beim Schweizerischen Alpenclub (SAC) einen hohen Stellenwert. Deshalb hat der Verein im Jahr 2004 das Projekt «Vom Plumpsklo zur umweltverträglichen Abwasserentsorgung» ins Leben gerufen. Ziel war es, die Abwassersituation der insgesamt 153 SAC-Hütten zu analysieren. Der

Stand lässt sich in etwa so zusammenfassen: 40% der Hütten verfügen über keine spezielle Abwasserbehandlung, 40% besitzen eine rudimentäre Fäkalschlammbehandlung (meist Absetzanlagen) und in einigen wenigen Hütten werden andere Technologien wie Kompostier-toiletten oder biologische Abwasserbehandlungsanlagen eingesetzt. Folgende Problembereiche sind bei der Abwasserreinigung an Extremstandorten im Gebirge zu beachten:

► Hygiene und Gewässerschutz stehen im Vordergrund, wobei auf Trinkwasserfassungen, die unterhalb von SAC-Hütten liegen können, geachtet werden muss.

► Beim Bau ist darauf zu achten, dass möglichst wenig Material benötigt

wird, da der Transport im Normalfall nicht über die Strasse erfolgen kann.

► Neben dem wartungsarmen Betrieb (kein geschultes Personal) soll der Energieaufwand klein sein. Die meisten SAC-Hütten sind nicht ans Stromnetz angeschlossen, verfügen über keine oder nur wenig selbst produzierte Elektrizität.

► Das Besucheraufkommen und damit der Abwasseranfall sind extremen Schwankungen ausgesetzt.

► Viele Hütten sind nur saisonal im Betrieb und stehen während mehreren Monaten leer.

► Es steht nicht in allen Hütten eine ausreichende Menge an Trinkwasser zur Verfügung. Im Winter wird zur Trinkwassergewinnung teils Schnee geschmolzen.

## Eine Hütte = vier Kühe

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen lässt sich zunächst aussagen, dass es keine «Musterlösung» für die Abwasserreinigung geben kann. Und obwohl nur wenige SAC-Hütten über eine Abwasserbehandlung verfügen, hält sich die Umweltbelastung mit Nährstoffen einigermaßen in Grenzen. Vergleicht man nämlich die Nährstoffemissionen (Stickstoff und Phosphor) einer durchschnittlichen SAC-Hütte mit der Landwirtschaft, so entspricht die SAC-Hütte ungefähr 4 Grossvieheinheiten während der Sommermonate.

Zum Auftrag an die Eawag gehörte eine Bewertung der Abwasserreinigungssysteme aufgrund ihrer Emissionen und bezüglich Tauglichkeit im hochalpinen Raum. Zu den betrachteten Systemen zählen die verbreiteten Absetzanlagen, Kompostier- und Trockenanlagen, Filtersacksysteme, Membranverfahren und als spezieller Punkt die Urinseparierung. Keines dieser Systeme ist universell anwendbar. In Abhängigkeit vom gebotenen Komfort (sanitäre Einrichtun-

gen, Restauration), den Platzverhältnissen und weiteren Faktoren muss für jede Hütte eine andere Lösung gefunden werden. Das Problem der meisten im alpinen Raum eingesetzten Abwasserbehandlungssysteme ist, dass sie lediglich eine fest-flüssig-Trennung bieten, während gelöste organische Stoffe, Stickstoff oder Phosphor überhaupt nicht entfernt werden.

## Absetzanlagen schneiden schlecht ab

Insgesamt schneiden insbesondere die weit verbreiteten Absetzanlagen schlecht ab, da sie hauptsächlich als Feststoffspeicher während der Sommermonate dienen und bezüglich Abwasser keinen grossen Reinigungseffekt erzielen. Ende Saison werden sie dann häufig schwallartig geleert, was zu einem starken Schmutzstoss im Gewässer führt. Relativ gut schneiden Kompostier- und Trockentoiletten ab. Für deren Betrieb ist jedoch Elektrizität nötig, und auch sie bieten lediglich eine fest-flüssig-Trennung. Für grössere Hütten mit Stromversorgung und Wasserknappheit bieten sich Membrananlagen als Lösung an, da sie das gesamte Abwasser behandeln und ausserdem die Möglichkeit bieten, das gereinigte Abwasser beispielsweise als Toilettenspülwasser wieder zu verwenden.

Die separate Sammlung und der Abtransport von Urin ist wünschenswert, da die Nährstoffemissionen um mindestens einen Faktor 2 verringert werden könnten. Ob sich dieser Aufwand jedoch lohnt, muss von Fall zu Fall entschieden werden. ○ ○ ○



Die Forno-Hütte zwischen Bergell und Engadin auf 2574 m ü. M. mit der Wintertoilette über dem Gletscher.

# Dächer hinterlassen Spuren

**Je nachdem, ob der Regen auf ein Metall-, Ziegel-, Kies- oder ein Gründach fällt, verändern sich Abflussverhalten und Qualität des Dachabwassers. Kann nicht auf Materialien mit problematischen Abschwemmungen verzichtet werden, bieten Filterpakete eine effektive Lösung an.** Steffen Langbein, Markus Boller

Im Rahmen einer zweijährigen Projektstudie wurden in einer Versuchsanlage in Burgdorf (BE) drei Schrägdächer, vier extensiv begrünte Dächer und ein Kiesdach hinsichtlich der Hydraulik und der Qualität der Regenwasserabflüsse untersucht. Ausserdem wurde das Dachabwasser von den beiden Metallblechdächern zur Elimination von Schwermetallen über Filterpakete aus granuliertem Eisenhydroxid (GEH) und Kalkgranulat geleitet und analysiert.

## Rückhalt im Sommer bis 70%

Die Wasserbilanzen der einzelnen Dächer in Abbildung 1 zeigen über die gesamte Versuchsdauer von zwei

Jahren die zu erwartende Klassierung der unterschiedlichen Dachtypen. Während die beiden Metallblechdächer praktisch keine Speicherfähigkeit aufweisen, ist der Rückhalt über das ganze Jahr gesehen beim Ziegeldach und beim Kiesdach mit 20% etwa gleich. Anzumerken ist, dass beim Ziegeldach die im Verhältnis zur Versuchsfläche grosse Abflussrinne und deren geringe Neigung die Rückhaltekapazität überproportional erscheinen lassen. Alle vier Gründächer weisen eine Speicherwirkung zwischen 30–40% auf, wobei die jahreszeitlichen Schwankungen enorm sein können. Kommen die hydraulischen Vorteile der Gründächer vor allem im Sommerhalbjahr – mit bis zu 70% Rückhalt – zum Tragen, so bewegen sich die Werte im Winterhalbjahr bei allen Gründächern relativ konstant zwischen 15% und 20%.

## Verzinnzte Bleche besser geeignet

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchungen bildete die stoffliche Zusammensetzung der Regenwasserabflüsse. Abbildung 2 macht deutlich, welche spezifischen Kupfer- bzw. Zinkfrachten im Dachablauf je Quadratmeter und Jahr für die Metallblechdächer und das Ziegeldach mit Kupferrinne sowie zum Vergleich im je nach Gebiet vorbelasteten Regenwasser zu erwarten sind. Dabei handelt es sich um Mittelwerte über den gesamten Versuchszeitraum von zwei Jahren. Besonders interessant sind einerseits die sehr hohen Zinkabschwemmraten des Titanzinkbleches, die vor allem im ersten Untersuchungsjahr mit 5,1 g Zn pro m<sup>2</sup> und Jahr bedeutend höher sind als der Richtwert mit 3,6 g [1]. Andererseits ist die 30fach geringere Kupferabschwemmrate des verzinnzten Kupferbleches gegenüber reinem Kupferblech, wie es beim Ziegeldach mit



B. Gerber, HTA Burgdorf

Die Versuchsfläche mit den verschiedenen Dachtypen.

Kupferrinne eingesetzt ist, hervorzuheben. Auch die Zinnabschwemmrate ist beim verzinnzten Kupferblech mit 0,06 g Sn pro m<sup>2</sup> und Jahr sehr tief. Unter der Voraussetzung, dass nicht später Kupfer in grösseren Mengen durch die Zinnschicht diffundieren wird, kann dieses Blech für Dachabdeckungen ökologisch als wesentlich geeigneter beurteilt werden als reines Kupfer- oder Titanzinkblech. Mit dem Einsatz einer Filterschicht aus granuliertem Eisenhydroxid und Kalksand zur Behandlung des Dachablaufs konnten während der gesamten Versuchszeit Eliminationsraten für die beiden Metalle Zink und Kupfer von mindestens 92% erreicht werden. ○ ○ ○

## Eine Filterschicht aus GEH trennt Schwermetalle sehr effizient ab.

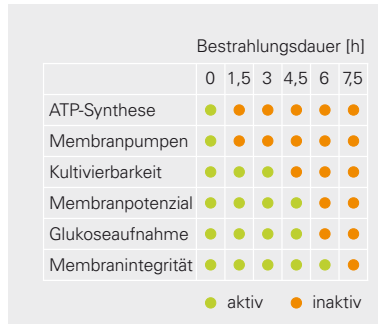


Abb. 1: Relative Wasserbilanzen der acht untersuchten Dachtypen. Die Linien in den Balken markieren den maximalen jahreszeitabhängigen Schwankungsbereich (+/-).

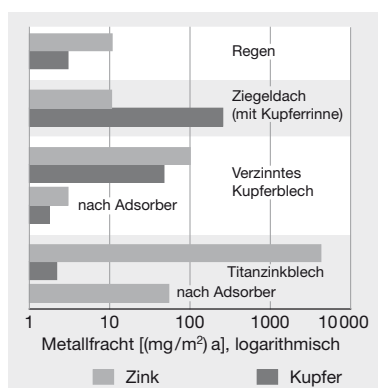


Abb. 2: Kupfer- und Zinkfrachten von ausgewählten Dachtypen mit und ohne Adsorber sowie zum Vergleich im Regenwasser.

[1] Koordination der Bau- und Liegenschaftsorgane des Bundes (KBOB) (2001): Empfehlung «Metalle für Dächer und Fassaden». [www.regenanalyse.ch](http://www.regenanalyse.ch)

# Gegen zu viel Bromat im Trinkwasser

**Eine neue Methode reduziert die Bildung des potenziell kanzerogenen Bromats bei der Trinkwasseraufbereitung mit Ozon entscheidend. Ist Wasser stark mit Bromid vorbelastet – zum Beispiel im Umfeld von Kalibergwerken oder in Küstennähe – kann das Chlor-Ammonium-Verfahren eine Lösung anbieten.** Marc-Olivier Buffle, Sonja Galli, Urs von Gunten

Die Ozonung von Trinkwasser wird weltweit für Desinfektions- und Oxidationszwecke eingesetzt. Gegenüber der Chlorung liegen ihre Vorteile unter anderem in einer viel geringeren Bildung von kanzerogenen halogenierten Nebenprodukten und in einer grösseren Desinfektionsleistung. Hauptnachteil der Ozonung

**Selbst bei sehr hohem Bromidgehalt erzielt unser Verfahren trinkwasser-taugliche Bromatwerte.**

ist das anorganische Nebenprodukt Bromat ( $\text{BrO}_3^-$ ), das ebenfalls als potenziell kanzerogen klassifiziert ist und in der Schweiz einen Toleranzwert von  $10 \mu\text{g/l}$  hat. Die Bildung von Bromat aus Bromid erfolgt durch eine Oxidation über eine komplexe Kombination der Wirkungen von OH-Radikalen und Ozon auf verschiedene Bromspezies.

## Reduktion um den Faktor 6

Das an der Eawag entwickelte Chlor-Ammonium-Verfahren umfasst eine Vorchlorung, gefolgt von einer Ammonium-Zugabe ( $\text{NH}_4^+$ ) vor der Ozonung. Die wichtigste Wirkungsweise ist die Voroxidation von Bromid zu  $\text{HOBr}$ , welches dann mit  $\text{NH}_3$  zu  $\text{NH}_2\text{Br}$  reagiert.  $\text{NH}_2\text{Br}$  reagiert nur langsam mit  $\text{O}_3$  zu Bromid und Nitrat. So langsam, dass für die Dauer eines typischen Ozonungsprozesses sehr wenig Bromat gebildet wird (Abb. 1).

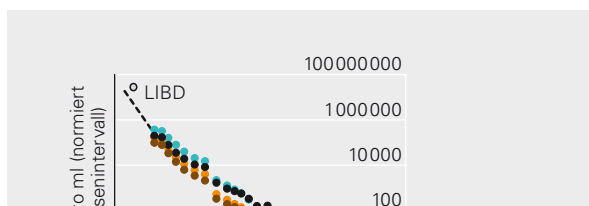


Abb. 1: Vereinfachter Mechanismus des Chlor-Ammonium-Verfahrens zur Minimierung von Bromat.

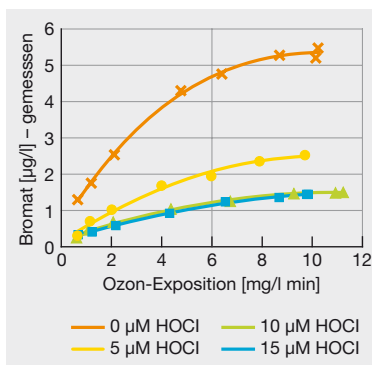


Abb. 2: Effekt der Chlordosierungen auf die Bromatbildung; Zürichseewasser,  $20^\circ\text{C}$ , pH 8, Bromid:  $90 \mu\text{g/l}$  (von  $10 \mu\text{g/l}$  aufgestockt); Ammoniumzugabe:  $300 \mu\text{g/l}$ . Die senkrechte Linie markiert eine Ozonung, die 99% des resistenten Krankheitserregers *Cryptosporidium parvum* inaktiviert, d. h. eine sehr gute Entkeimungsleistung.

Die Verminderung der Bromatbildung durch das Chlor-Ammonium-Verfahren ist in Abbildung 2 für Zürichseewasser gezeigt, das auf  $90 \mu\text{g/l}$  Bromid aufgestockt wurde. Die Bromatbildung kann von rund  $6 \mu\text{g/l}$  auf rund  $1 \mu\text{g/l}$  reduziert werden.

## Weit unter dem Grenzwert

Neben dem in Abbildung 1 gezeigten Mechanismus wirkt das Chlor-Ammonium-Verfahren auch über eine Chlorierung gewisser Einheiten des natürlichen organischen Materials. Diese bewirkt eine verminderte Bildung von OH-Radikalen, was wiederum zu einer reduzierten Bromatbildung führt, da Bromid auch über den radikalischen Weg zu Bromat oxidiert wird (Abb. 1).

Ein Nachteil des Chlor-Ammonium-Verfahrens ist die mögliche Bildung von ebenfalls Krebs erregenden Trihalomethanen (THM) während der Vorchlorung. Weil für den Prozess viel niedrigere Chlorexpositionen als im üblichen Chlorierungsprozess benötigt werden, bleibt die Summe der

THM-Konzentrationen jedoch gering, typischerweise unterhalb von  $15 \mu\text{g/l}$  (zum Vergleich: in der EU gilt ein THM-Grenzwert von  $100 \mu\text{g/l}$ ).

## Für spezielle Verhältnisse geeignet

Die Bromidkonzentrationen verschiedener Wasserressourcen schwanken im Bereich von  $10 \mu\text{g/l}$  bis zu  $2 \text{mg/l}$ . Um die Wirksamkeit des neuen Verfahrens zu prüfen, wurden dem Zürichseewasser ( $\text{Br}_{\text{natür.}}^- = 10 \mu\text{g/l}$ ) bis zu  $560 \mu\text{g/l}$   $\text{Br}^-$  zugegeben. Mit einer konventionellen Ozonung entstehen dabei rund  $35 \mu\text{g/l}$  Bromat, mit dem Chlor-Ammonium-Verfahren dagegen nur  $5 \mu\text{g/l}$ . So kann also trotz einer extrem hohen Bromidkonzentration ein Trinkwasser produziert werden, dessen Bromatgehalt unter dem Toleranzwert liegt.

Weil das Chlor-Ammonium-Verfahren zusätzliche Kosten für die Wasseraufbereitung verursacht und zu leicht erhöhten Konzentrationen von halogenierten organischen Verbindungen führt, ist es jedoch erst bei Bromidkonzentrationen über  $200 \mu\text{g/l}$  und geforderten hohen Desinfektionsleistungen zu empfehlen. Solche Bedingungen treten zum Beispiel in Küstennähe oder unterhalb von Bergbaugebieten auf. ○ ○ ○

Buffle M.-O., Galli S., von Gunten U. (2004): Enhanced Bromate Control during Ozonation: The Chlorine-Ammonia Process. Environmental Science and Technology 38 (19): 5187–5195.

# Urin zu Dünger aufbereiten

**Das transdisziplinäre Projekt Novaquatis untersucht unter anderem die separate Sammlung und Behandlung von Urin. Ziel ist es, die darin enthaltenen Nährstoffe für eine spätere Nutzung aufzubereiten. Verschiedene Verfahren wurden getestet. Als vorteilhaft konnte schliesslich die Kombination von Elektrodialyse und Ozonung beurteilt werden. 2005 soll eine Pilotanlage in Liestal Erkenntnisse aus der Praxis bringen.**

Wouter Pronk, Martin Biebow, Steffen Zuleeg, Judit Lienert, Urs von Gunten, Markus Boller



Elektrodialyse-Anlage, benutzt für die Laborversuche.

Urin ist bezüglich seiner Nährstoffzusammensetzung gut als landwirtschaftlicher Dünger geeignet. In der heutigen Praxis wird das Abwasser aus Siedlungen in Kläranlagen behandelt, wobei die Schmutzstoffe biologisch abgebaut oder im Klärschlamm angereichert werden. Allerdings werden unerwünschte Mikroverunreinigungen (Pharmazeutika, hormonaktive Stoffe) in den Kläranlagen nur zum Teil entfernt. Solche Stoffe können aber in aquatischen Ökosystemen nachgewiesen werden und es besteht der Verdacht, dass sie negative Auswirkungen auf Wasserorganismen haben könnten. Im Eawag-Querprojekt Novaquatis werden deshalb unter anderem Trennmethode untersucht, die es ermöglichen, die wertvollen Nährstoffe aus dem Urin zurückzugewinnen und gleichzeitig

organische Mikroverunreinigungen weitgehend abzuspalten.

In den letzten Jahren wurde ein grosses Spektrum von Aufbereitungsverfahren getestet und bewertet. Eines der untersuchten Verfahren ist die Membrantechnologie der Elektrodialyse. Bei der Elektrodialyse werden die Salze in einem elektrischen Feld durch eine Membran transportiert und aufkonzentriert.

## Mikroverunreinigungen werden zurückgehalten

Organische Stoffe, die einen grösseren Durchmesser als die Membranporen haben, werden zurückgehalten. Die Versuche wurden mit gelagertem Urin aus den NoMix-WCs der Eawag durchgeführt.

Es wurde gezeigt, dass die Nährstoffe (Salze) im Produktkomparti-

ment bis zu einem Faktor 3–4 aufkonzentriert werden können und die Mikroverunreinigungen zum grössten Teil zurückgehalten werden. Als zusätzliches Verfahren zur Entfernung der restlichen Mikroverunreinigungen wurde die Ozonung getestet. Die Versuche haben nachgewiesen, dass die Mikroverunreinigungen vollständig oxidiert werden können, und zwar obwohl die organische Matrix im Urin einen Teil des zugeführten Ozons verbraucht.

**Auch im Eawag-Empa-Neubau in Dübendorf wird der Urin getrennt gesammelt werden.**

## Pilotprojekt für Kantonsbibliothek Liestal

Mit dem Ziel, den Aufbereitungsprozess in der Praxis zu testen, wurde ein Folgeprojekt definiert. Es wird in Zusammenarbeit mit dem Amt für Industrielle Betriebe, Basel-Landschaft, ausgeführt und von Novatlantis (Nachhaltigkeit im ETH-Bereich) unterstützt. In der Kantonsbibliothek Liestal soll die Aufbereitung von Urin aus NoMix-WCs im Pilotmassstab getestet werden. ○ ○ ○

Pronk W., Biebow M., Boller M.: «Assessment of processing alternatives for source-separated urine». Proceedings of the IWA World Congress, September 19–24, 2004, Marrakech, Morocco.  
<http://www.novaquatis.ch>

# Fingerabdruck der Gesellschaft

**Frachten von Haushaltchemikalien sind in der Kanalisation grossen, sehr kurzfristigen und zufälligen Schwankungen unterworfen. Wir beschaffen vorhandene Informationen und charakterisieren mit unserem Modell diese hohe Dynamik. Die Ergebnisse können direkt für weitere Modellierungszwecke und die Planung von Messkampagnen verwendet werden. Das vermeidet erhebliche Fehler in der Frachtabschätzung.** Christoph Ort, Christian Schaffner, Walter Giger, Willi Gujer

## Unsere Modellvorhersagen verringern Unsicherheiten in Frachtabschätzungen.

Längst geht es in der modernen Abwasserreinigung nicht mehr nur darum, Stoffe wie Ammonium abzubauen, sondern eine Vielzahl von Haushaltchemikalien zu eliminieren, zum Beispiel Medikamente. Je seltener die Quellen und je tiefer die Konzentrationen dieses Fingerabdrucks der Gesellschaft im Abwasser sind, desto schwieriger sind die auch als Mikroverunreinigungen bezeichneten Stoffe nachweisbar. Repräsentative Probenahmen sind nicht einfach und Laboranalysen teuer.

### Einzelerfassung zu aufwändig

Deshalb wurde ein Modell erarbeitet, das eine realistische Vorhersage des Anfalls einer Substanz in der Kanalisation erlaubt. Wir charakterisieren Haushaltaktivitäten, weil diese einen grossen Beitrag zum kommunalen Abwasser liefern, aber im Gegensatz

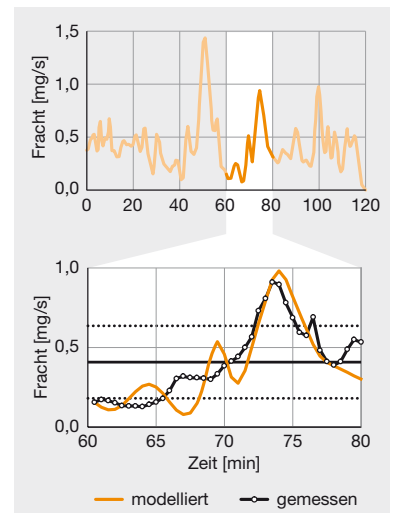
zu Spitälern und Industriebetrieben nicht einzeln erfass- und überprüf- bare Punktquellen darstellen. Das digitale Entwässerungssystem legt mit den georeferenzierten Daten aus der Volkszählung das Einzugsgebiet fest. Verkaufszahlen und soziodemografische Produktinformationen kombiniert mit den Haushalts- und Personenattributen ermöglichen, die tägliche Menge einer Substanz sowie eine ungefähre Anzahl Quellen zu bestimmen. Für die Modellierung der einzelnen Abwasserpulse (z.B. WC-Spülung) müssen die hydraulischen Eigenschaften der Haushaltsinstallationen, die Transformation in den Hausanschlüssen und der Kanalisation abgeschätzt werden. Da das zeitliche und örtliche Auftreten der Abwasserpulse nicht genau erfasst werden kann, führen wir eine wahr- scheinlichkeitsbasierte (stochastische) Modellierung durch. Variiert werden die Parameter Menge Substanz pro Abwasserpuls, Dauer, Zeitpunkt und Fließzeit des Abwasserpulses sowie die Dispersion in der Kanalisation. Eine aufwändige hydro- mechanische Berechnung ist nicht notwendig.

### Hohe Schwankungen

Für das Beispiel Benzotriazol (Silber- schutz in Maschinengeschirrspülmit- teln) stellen wir neben einem gemes- enen systematischen Tagesgang sehr hohe kurzfristige Schwankungen fest (Abbildung). Für seltenere Quellen, zum Beispiel für das Anti- epileptikum Carbamazepin, wird diese Dynamik auch in grossen Einzugs- gebieten noch höher und zufälliger sein. Sie lässt sich mit unserem Modell beschreiben und für verschie- dene Anwendungen nutzen, zum Bei- spiel für die Optimierung von Probe- nahmen. Wo immer in den Systemen



Wie viele Geschirrspüler haben kürzlich ihre Fracht entlassen? Messkampagne zur Prüfung der modellierten Abflussmuster in der Kanalisation.



Frachten von Benzotriazol. Oben: Modelliertes Muster über zwei Stunden aus einem Einzugsgebiet von knapp 9000 Haushalten bei geringster Aktivität (rund 75 Geschirrspülmaschinenpulse pro Stunde). Unten: Resultat einer hochfrequenten Messkampagne (Proben alle 30 Sekunden): Mittelwert, Varianz und Dynamik stimmen gut mit dem modellierten Abschnitt überein.

Haushalt – Kanalisation – Kläranlage – natürliches Gewässer Schmutzstofffrachten abgeschätzt oder Prozesse von Subsystemen modelliert werden, steht der Haushalt am Anfang und dient direkt oder indirekt als «Eingangsgrösse», etwa für die Grauwasserwiederverwendung, für Mischwasserentlastungen, Abbauprozesse in der Kläranlage oder Expositionsszenarien für Umweltrisikolanalysen. ○ ○ ○

Ort C., Schaffner C., Giger W., Gujer W. (2004): Modeling stochastic load variations in sewer systems. In «UDM'04, 6th International Conference on Urban Drainage Modeling», Dresden, Germany – submitted to Water Science and Technology. [www.internal.eawag.ch/~ortchris/](http://www.internal.eawag.ch/~ortchris/)

# Tracer bringen es an den Tag

**Im Rahmen des europäischen Forschungsvorhabens APUSS\* wurden an der Eawag neue Tracermethoden entwickelt, um Lecks in Kanalisationen zu beurteilen. Im Vergleich zu den bisher angewandten Methoden – Drucktests oder Kameraaufnahmen – erlaubt das Vorgehen eine zuverlässigere Bestimmung der unter realen Betriebsbedingungen auftretenden Abwasserverluste und Fremdwasserzutritte.** Oliver Kracht, Jörg Rieckermann, Willi Gujer

Die neuen Messmethoden beruhen auf der Verwendung künstlicher oder natürlicher Tracer zur Quantifizierung der Ex- und Infiltration. Sie erreichen genauere Ergebnisse als herkömmliche Messungen und können vor allem im Hinblick auf eine objektivierbare Planung der stets mit erheblichem wirtschaftlichem und technischem Aufwand verbundenen Sanierungsmassnahmen wertvolle Informationen liefern. In Zusammenarbeit mit den APUSS-Projektpartnern wurden die Methoden in den vergangenen 12 Monaten in Rom, London, Dresden, Berlin, Bottrop, Lyon, Nantes und im Umland von Zürich unter lokalen Rahmenbedingungen auf ihre praktische Umsetzbarkeit getestet.

## Moderne Messtechnik

Zur Infiltrationsbestimmung stehen zwei verschiedene Ansätze zur Verfügung. Methode 1 bestimmt den Fremdwasseranteil indirekt durch eine Analyse der Schmutzstoff- und Abflussganglinien [1]. Die notwendige Dynamik dieser beiden Messgrößen war in allen Anwendungsstudien problemlos gewährleistet. Allerdings bereitete den Messteams der störungsfreie Einsatz der erforderlichen In-line-Messtechnik für die Schmutzstoffkonzentrationen zu Beginn Schwierigkeiten. Bei sorgfältiger Ausführung erreichen die Messungen eine Genauigkeit von besser als 10 % (zweifache Standardabweichung) bezogen auf den Abwasseranfall. Methode 2 nutzt die Isotopenzusammensetzung des Wassers als natürlichen Tracer und ist anwendbar, wenn lokales Trinkwasser und infiltriertes Wasser unterschiedliche Sauerstoff- bzw. Wasserstoffisotopenverhältnisse aufweisen [2]. Entsprechende Voraussetzungen fanden sich im Rahmen des Projektes im Umland von

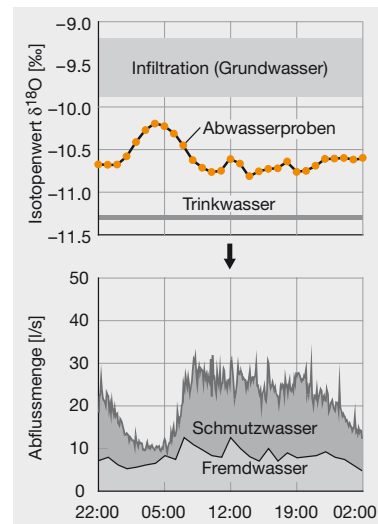
Zürich (Abb.), in Rom und in Lyon. Die Genauigkeit der Bestimmungen hängt wesentlich von der natürlichen Variabilität der Isotopenzusammensetzung der möglichen Infiltrationsquellen (z.B. Grundwasser) ab. Der Fehler liegt bei geeigneten Verhältnissen ebenfalls unterhalb von 10 %.

## Hohe Genauigkeit erreichbar

Die Bestimmung von Abwasserverlusten wird durch den Vergleich von zwei künstlich erzeugten Tracersignalen möglich. Das eine Signal wird durch mögliche Abwasserverluste in der Kanalstrecke reduziert, das andere dient als Kontrollsignal, um die Verluste quantifizieren zu können [3]. Die unterschiedlichen Exfiltrationsmethoden, bei denen die Tracerlösungen entweder impulsartig oder kontinuierlich mittels Pumpen dosiert werden, zeigten weitgehend zufrieden stellende Ergebnisse. Wir erwarten, dass Abwasserverluste von wenigen Prozent des anfallenden Abwassers detektiert werden können. Massgebliche Fehlerquellen waren oftmals die Hintergrundkonzentration der verwendeten Tracer sowie komplizierte Abflusssituationen, welche die Interpretation der Ergebnisse erschwerten.

Zusammenfassend zeigte sich, dass experimentelle Studien in Kanalisationen logistisch und praktisch noch immer sehr anspruchsvoll sind, wenn eine hohe Qualität und Genauigkeit gefordert werden. Die Methoden sind in der Praxis einsetzbar, die erreichbare Messgenauigkeit hängt jedoch von den lokalen Randbedingungen im Einsatzfall ab. ○ ○ ○

\* APUSS: «Assessment of the Performance of Urban Sewer Systems». Europäisches Forschungsprojekt, in dem sich 10 Partner aus Forschung und Wirtschaft zusammengeschlossen haben.



Zerlegung einer Abflussganglinie mit Hilfe der Isotopenmethode (Hauptsammler von Rümlang, November 2003); oben: Charakterisierung der verschiedenen Wässer anhand ihrer Isotopenzusammensetzung; unten: Errechnete Aufteilung des Abwasserstromes in Schmutzwasser und Fremdwasser. Der  $\delta^{18}\text{O}$ -Wert ist ein Mass für die Sauerstoffisotopenzusammensetzung des Wassers bezogen auf einen internationalen Standard.

- [1] Kracht O., Gujer W. (2004): Quantification of Infiltration into Sewers based on Time Series of Pollutant Loads. 4<sup>th</sup> International Conference on sewer Processes and networks. Funchal, Portugal.
- [2] Kracht O., Gresch M., de Bénédittis J., Prigobbe V., Gujer W. (2003): Stable Isotopes of Water as a Natural Tracer for Infiltration into Urban Sewer Systems. Geophys. Res. Abstracts 5, 07852.
- [3] Rieckermann J., Borsuk M., Reichert P. and Gujer W. (2005): A novel tracer method for quantifying sewer exfiltration. Water Resources Research (submitted).

# Abwasserwärme optimal nutzen

**Abwasser enthält enorme Mengen thermischer Energie, die in der Schweiz an etwa fünfzig Standorten bereits heute zu Heizzwecken genutzt wird. Dabei muss darauf geachtet werden, dass durch die Abkühlung des Abwassers der Betrieb nachgeschalteter Kläranlagen und durch die Verschmutzung des Wärmetauschers die Leistung der Anlage nicht beeinträchtigt werden.**

Oskar Wanner, Vassileios Panagiotidis, Jack Eugster, Hansruedi Siegrist

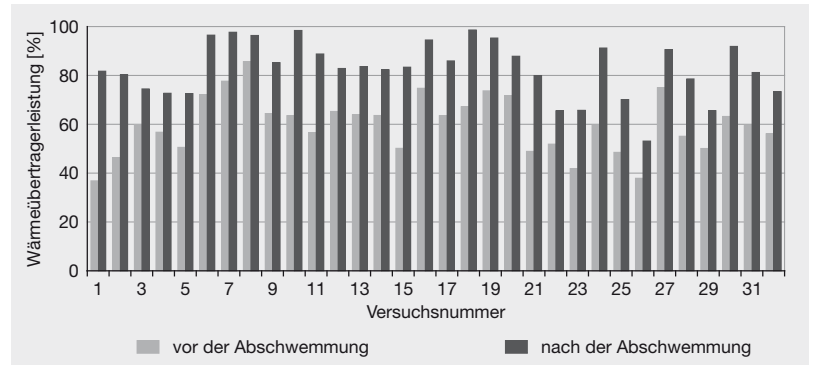
Während einer zweijährigen Versuchsperiode wurde der Zusammenhang zwischen Verschmutzung und Leistung eines Wärmetauschers untersucht, über den vorgeklärtes Abwasser floss. Innert einer Woche bildete sich auf dem Wärmetauscher jeweils eine hauptsächlich aus Bakterien bestehende Schmutzschicht (Biofilm oder Sielhaut), welche die Wärmeübertragungsleistung im Mittel auf etwa 60 % reduzierte.

## Abschwemmung ist erfolgreich

Die Untersuchung verschiedener Einflussgrössen der Biofilmbildung – Oberflächengüte und -beschichtung, Abflussregime – ergab, dass die kurzzeitige Erhöhung der Fließgeschwindigkeit eine geeignete Massnahme ist, um den entstandenen Biofilm teilweise wieder abzuschwemmen [1]. Durch wöchentliche Abschwemmung konnte die Leistung des verschmutzten Wärmetauschers auch über längere Zeit hinweg immer wieder auf ein signifikant höheres Niveau zurückgebracht werden (Abb.).

Die Abwassertemperatur in der Kanalisation ändert sich auf der Fließstrecke zwischen Wärmetauscher und Kläranlage durch den Austausch von Wärme mit der Um-

gebung und beim Zusammenfluss unterschiedlich warmer Abwasserströme. Es wurde ein Simulationsmodell entwickelt, mit dem die örtlichen und zeitlichen Veränderungen der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr in Abhängigkeit von den jeweiligen hydraulischen, baulichen, geologischen und meteorologischen Gegebenheiten berechnet werden



Leistung des verschmutzten Wärmetauschers vor und nach der Abschwemmung des Biofilms bezogen auf die Leistung des sauberen Wärmetauschers.

können [2]. Mit diesem Modell kann der Einfluss der Wärmeentnahme aus der Kanalisation auf die Zulauf-temperatur einer nachgeschalteten Kläranlage abgeschätzt werden.

## Kälte bremst Nitrifikation

Von den in der Kläranlage ablaufenden Prozessen ist die Nitrifikation (Umwandlung von Ammonium zu Nitrat) am stärksten von der Temperatur abhängig und wird durch Abkühlung des Abwassers negativ beeinflusst. Es wurde deshalb untersucht, wie sich eine Temperaturabsenkung im Zulauf einer Kläranlage mit Belebtschlamm-System auf die Nitrifikationssicherheit auswirkt und mit welchen Massnahmen diese Sicherheit erhalten werden kann. Dabei zeigte es sich, dass kurzzeitige, nur wenige Stunden dauernde Temperatureinbrüche wegen den grossen Aufenthaltszeiten in diesen Kläranlagen kaum von Bedeutung sind. Dagegen haben permanente Temperaturabsenkungen auf die Nitrifikation einen Einfluss, der zu beachten ist. Infolgedessen wurde eine Prozedur entwickelt, mit der die Nitrifikationsreserve einer Kläranlage in Bezug auf die Einhaltung der Grenzwerte der Ammo-

niumpkonzentration im Ablauf abgeschätzt werden kann [3]. Wird eine Grenzwertüberschreitung vorausgesagt, muss die Wärmeentnahme reduziert werden. ○ ○ ○

## Die Vorhersage der Nitrifikationsreserve hilft, eine Überschreitung der Grenzwerte zu vermeiden.

- [1] Wanner O., Delavy P., Eugster J., Panagiotidis V., Siegrist H. (2004): Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen. BFE-Projekt Nr. 44177, Schlussbericht, [www.waermepumpe.ch](http://www.waermepumpe.ch).
- [2] Wanner O., Panagiotidis V., Siegrist H. (2004): Wärmeentnahme aus der Kanalisation – Einfluss auf die Abwassertemperatur. KA Korrespondenz Abwasser Band 51, H. 5, 489–495.
- [3] Wanner O., Clavadetscher P., Siegrist H. (2005): Auswirkungen der Abwasserabkühlung auf den Kläranlagenbetrieb. gwa Gas, Wasser, Abwasser H. 2, 111–118.

# Membranverfahren beeinflusst Nitrifikation

**Das Membranverfahren führt in Kläranlagen zu deutlich kleineren Belebtschlammflocken als beim konventionellen Verfahren mit Nachklärung. Das kann die Nitrifikationsleistung verbessern, da die Sauerstoffdiffusion bei den kleineren Flocken keine Rolle spielt. Die Erkenntnisse haben Auswirkungen auf den Betrieb und die Modellierung von Membranbelebungsanlagen.**

Reto Manser

Belebtschlammverfahren mit getauchten Membranen zur Abtrennung der Biomasse vom gereinigten Abwasser – auch Membranbioreaktoren, abgekürzt MBR, genannt – sind eine viel versprechende Alternative zum konventionellen Verfahren mit Nachklärbecken. Vollständiger Rückhalt der Biomasse, die damit einhergehende hohe Wasserqualität im Ablauf und ein deutlich reduzierter Platzbedarf sprechen für das neue Verfahren.

## Zwei Jahre Pilotbetrieb

Der parallele Betrieb einer konventionellen und einer Membrananlage an der Eawag über gut zwei Jahre führte zu folgenden Resultaten:

► Deutliche Unterschiede der Schlammsstruktur. Beim Schlamm aus der konventionellen Anlage betrug der mittlere Flockendurchmesser 200 bis 500  $\mu\text{m}$  mit starken jahreszeitlichen Schwankungen. Der Belebtschlamm aus den Membranbioreaktoren bestand aus kleineren Strukturen in der Grösse von 100  $\mu\text{m}$  zu Beginn bis 40  $\mu\text{m}$  nach knapp zwei Jahren Betrieb.

► Gleiche Nitrifikantenpopulationen. Bei den Ammoniumoxidierern wurden beide Anlagen dominiert von Bakterien aus der Gruppe der *Nitrosomonas oligotropha*, welche bevorzugt in schwach belasteten Systemen auftreten, während Vertreter der Gattung *Nitrospira* verantwortlich waren für die Nitritoxidation.

Die Messung der Nitrifikationsraten in Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration ergab deutliche Unterschiede zwischen dem Belebtschlamm aus der konventionellen Anlage und dem MBR (Abb. 1).

Die gemessenen Unterschiede können mit Diffusionseffekten in den

Flocken erklärt werden. Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung des Flockenmodells. Durch die Diffusion des Sauerstoffs in die Flocke und die Zehrung des Sauerstoffs innerhalb der Flocke entsteht ein Sauerstoffgefälle entlang dem Radius der Flocke. Während bei einer hohen Sauerstoffkonzentration im Belebtschlamm ( $S_{O, \text{hoch}}$ ) die Flocke vollständig aerob ist, durchdringt der Sauerstoff bei einer tiefen Konzentration ( $S_{O, \text{tief}}$ ) die Flocke nicht mehr vollständig. In der Folge ist bei tiefen Sauerstoffkonzentrationen in grösseren Flocken aus der konventionellen Anlage nur noch ein Teil der Nitrifikanten aktiv, was zu einer tieferen Nitrifikationsrate führt.

## Höhere Leistung bei reduziertem Energiebedarf

Die Resultate zeigen, dass im MBR die Nitrifikation in Bezug auf den Sauerstoff bei 1 g  $O_2/m^3$  bereits 90 % der maximalen Leistung aufweist (Abb. 1). Es ist daher aus zwei Gründen sinnvoll, das aerobe Becken im Membranbelebungsverfahren mit

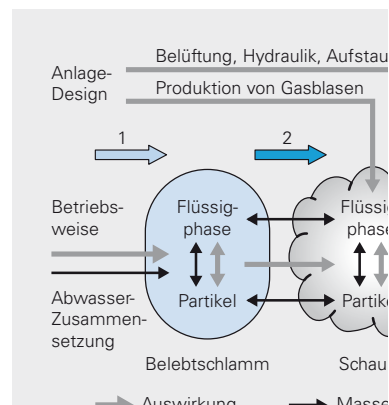


Abb. 1: Gemessene und modellierte (Monod-Modell) Ammoniumoxidationsraten in Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration für die beiden Belebtschlämme.

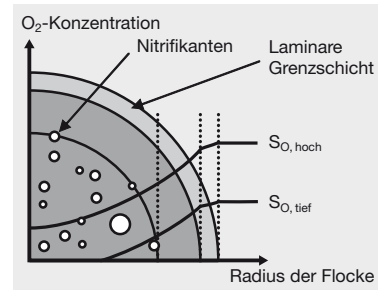


Abb. 2: Schematische Darstellung des Flockenmodells. Die Nitrifikanten (als Cluster von 10–10 000 Zellen) befinden sich nur im inneren Bereich der Flocke, da sie von den schneller wachsenden heterotrophen Bakterien überwachsen werden. Zur Vereinfachung des Modells wurde angenommen, dass die Nitrifikanten homogen verteilt sind.

einer Sauerstoffkonzentration von 1 g  $O_2/m^3$  zu betreiben.

Erstens kann die Leistung der Gebläse reduziert werden, da im Vergleich zu typischen Sauerstoffkonzentrationen von 2–3 g  $O_2/m^3$  im konventionellen Belebtschlammverfahren die treibende Kraft und somit die Effizienz des Sauerstoffeintrages erhöht wird. Entsprechend verringert sich der Energiebedarf der Belüftung um 10 bis 20 %. Zweitens wird bei denitrifizierenden Anlagen weniger Sauerstoff in die anschließende anoxische Denitrifikationszone gebracht. Die Denitrifikationsleistung kann damit verbessert werden. ○ ○ ○

Manser R., Gujer W., Siegrist H. (2004): A rapid method for quantification of nitrifiers in activated sludge. *Water Research* 39/8, 1585–1593.

Manser R., Gujer W., Siegrist H. (2004): Membrane Bioreactor vs. Conventional Activated Sludge System – Population Dynamics of Nitrifiers. IWA 4<sup>th</sup> World Water Congress held in Marrakech 2004.

# Wasser

## Aquatische Ökosysteme

# Leben

**Im Spannungsfeld zwischen Nutzung und Schutz der Ressource Wasser erforscht die Eawag Ökosysteme und entwickelt Lösungen für ein nachhaltiges Wasser- und Gewässermanagement. Sie liefert Grundlagen für erfolgreiche Revitalisierungsprojekte und quantifiziert die Auswirkungen menschlicher Eingriffe und die Effekte von Klimaänderungen auf Wasservorkommen.**

Das Handlungsfeld aquatische Ökosysteme leistet grundlegende Beiträge zur nachhaltigen Nutzung der Ressourcen Wasser und Gewässer. In Lehre und Forschung befasst sich die Eawag mit dem Verständnis der Wechselwirkungen in aquatischen Systemen. Der steigende Bedarf nach Wasser und Wasserdienstleistungen führt zu Nutzungskonflikten und zur Bedrohung der ökologischen Funktionen der Gewässer. Die Eawag fördert ein ganzheitliches und nachhaltiges Gewässermanagement und stellt Konzepte und Methoden bereit, welche aktuelle und künftige Nutzungskonflikte lösen können.

### **Vier Forschungsschwerpunkte**

Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum und damit einhergehende Umweltveränderungen – zum Beispiel die Änderung der Landnutzung – verschärfen regional und global den Druck auf die Ressource Wasser. Versalzung, Wasserbelastung durch Chemikalien, Veränderungen des Wasserhaushalts, Ankurbelung biochemischer Kreisläufe und der rasche Rückgang der biologischen Vielfalt in aqua-

tischen Ökosystemen zählen zu den grössten Problemen der Zukunft. Die Eawag hat daher in diesem Handlungsfeld die folgenden vier Forschungsschwerpunkte gesetzt:

**Menschliche Einflüsse:** Wir quantifizieren die Wirkungen und Folgen menschlicher Einflüsse auf Menge, Qualität und Ökologie von Wasservorkommen.

**Klimaänderung:** Wir untersuchen Zusammenhänge zwischen Klimaänderungen und Auswirkungen auf Wasserressourcen. Wir bewerten diese Effekte und erstellen Prognosen zu Folgen, die zu erwarten sind.

**Nachhaltiges Gewässermanagement:** Wir stellen wissenschaftliche Grundlagen zur Verfügung für eine erfolgreiche Revitalisierung von Gewässern. Wir entwickeln Vorhersage- und Bewertungsmodelle, welche transparente Entscheide und Erfolgskontrollen ermöglichen.

**Einzugsgebietsmanagement:** Wir erarbeiten Methoden und Werkzeuge, mit denen das Aufwand-Effekt-Verhältnis auf der Ebene Einzugsgebiet optimiert werden kann, zum Beispiel für eine nachhaltige Landwirtschaft oder für den Umgang mit stark beeinträchtigten Gewässern im Siedlungsgebiet.

# als nsraum source

## **Vom Wildibach bis zum Donaustau**

Der Bericht über das Schwemmgut als Rettungsinsel und Transportmittel (Seite 27) zeigt, wie Gewässer vielerorts ihre ökologische Unversehrtheit verloren haben. Der Konflikt – in diesem Fall zwischen Hochwassersicherheit und Artenvielfalt – wurde bisher möglicherweise allzu stark zu Ungunsten der Ökologie entschieden. Die an der Eawag erarbeiteten Grundlagen könnten zu neuen, ganzheitlicheren Lösungen führen.

Dass Entscheide über Flussrevitalisierungen komplex und oft konfliktträchtig sind, dokumentieren zwei Beispiele von der Thur (Seiten 30 und 31). Erfolg verspricht dabei eine wissenschaftlich begleitete und transparente «Weichenstellung» unter Einbezug aller Beteiligten und Betroffenen, wie der erste Artikel beschreibt. Der zweite macht deutlich, dass viel Aufwand nötig ist, um mögliche Folgen schlüssig abzuklären. Ein dritter Artikel zum Thema Revitalisierung weist schliesslich nach, wie wichtig eine Erfolgs-

kontrolle ist (Seite 32): Nur dank dem Artenreservoir in der Aare konnte der künstlich geschaffene Wildibach rasch und reich besiedelt werden.

Zwei Mal nach Osten schauen die Beiträge auf den Seiten 33 und 34. Der eine beschreibt die Untersuchungen, welche die Eawag gemeinsam mit mazedonischen Forschern und dem schweizerischen Staatssekretariat für Wirtschaft am Ohridsee betreibt. Der andere weist nach, dass der Donaustau am Eisernen Tor nicht die bisher vermutete Wirkung hat auf den Silizium-Haushalt an der Donaumündung. Die letzten drei Artikel aus diesem Handlungsfeld widmen sich neuen Erkenntnissen über physikalische, chemische und biologische Abläufe in und an Seen. Scheinbare Banalitäten werden dabei als wesentliche Faktoren aufgedeckt: Moleküle müssen im Sediment Umwege machen (Seite 35), Schilf wird vor allem nachts abgebaut (Seite 36) und wechselnde Lichtverhältnisse fördern das Zusammenleben (Seite 37).



# Ausbreitung via Schwemmgut wird unterschätzt

**In Fließgewässern finden bei Hochwasser spektakuläre Massentransporte organischen Materials und terrestrischer Organismen statt. Untersuchungen an der Aare belegen, dass Schwemmgut eine Vielzahl lebender terrestrischer Wirbelloser enthält, dass aber Kraftwerke die Schwemmgut- und Organismenfracht eines Gewässers stark reduzieren.** Niklaus Trottmann, Simone D. Langhans, Klement Tockner

Naturnahe Fließgewässer sind stark frequentierte Migrationsachsen. Bei Hochwasser bilden schwimmende Geniste aus Totholz und anderen Pflanzenteilen mobile Refugien, in denen lebende terrestrische Kleintiere in hohen Dichten transportiert werden [1]. Dieser periodisch auftretende Strom von Organismen sorgt für einen Gentransfer von flussaufwärts gelegenen Tier- und Pflanzenpopulationen hin zu solchen flussabwärts. Gegenüber der aktiven Ausbreitung auf dem Landweg und im Vergleich zu anderen Transportmöglichkeiten (Wind, Wirbeltiere etc.) bietet die so genannte hydrochore Ausbreitung gute Chancen, geeignete Habitate zu erreichen, da entlang von Fließgewässern dieselben Lebensraumtypen wiederkehren und Migrationsbarrieren wie Strassen und Siedlungen auf dem Wasserweg überwunden werden können.

## Transportmittel und Lebensraum in einem

Der Wassertransport von Diasporen (pflanzliche und tierische Ausbreitungseinheiten) kann auf zwei Arten erfolgen: frei driftend im Wasser oder gekoppelt an Schwemmgut. Untersuchungen zeigen, dass, assoziiert mit Totholz und anderen Pflanzenteilen, terrestrische Wirbellose in signifikant höheren Dichten transportiert werden als im freien Wasser [2]. Deshalb sprechen wir zwar vom Wasser als Transportmedium, aber vom Schwemmgut als Ausbreitungsmedium. Die Ausbreitung über Schwemmgut ist ein passiver Prozess, der modellhaft in drei Schritte unterteilt werden kann: Eintritt ins Ausbreitungsmedium, Transport sowie Besiedlung des neuen Standortes. Schwemmgut hat dabei nicht nur eine direkte Funktion als Transportmittel. Es ist gleichzeitig Lebensraum und Diasporenbank.

## Schnecken klettern aufs Rettungsfloss

Viele der im Schwemmgut transportierten Kleintiere nutzen das organische Material schon vor dem Wassertransport als Lebensraum und werden mit diesem in die Ge-

Oben: Sortieren und Auszählen von wirbellosen Kleinlebewesen, die das austrocknende Schwemmgut verlassen haben (Bild: Andri Bryner).

Unten: Dynamische Flusslandschaft an der Schwarzwasser (Fribourg). Sowohl auf den Kiesbänken als auch im Fluss ist Schwemmgut gleichzeitig Lebensraum und strukturierendes Element (Bild: Michel Roggo).



Fritz Grogg, bkw-fmb Energie AG

Abb. 1: Schwemmgutteppich am Rechen des Wasserkraftwerks Bannwil an der Aare während eines Hochwassers 2002.

### Schwemmgut

Schwemmgut, auch als Treibgut, Getreibsel oder Geschwemmsel bezeichnet, ist durch Wasser transportiertes oder abgelagertes, überwiegend organisches Material wie Holz, Laub, Gras und Ähnliches. Im wasserbaulichen Sinne benennt der Begriff die schwimmfähigen Anteile des Feststofftransportes. Aggregiertes oder verflochtenes Schwemmgut wird oft als Genist bezeichnet.

sie den Transport aber meist unbeschadet. Schwimmende Geniste werden so zu mobilen Lebensräumen, in denen Kleintiere einen Wassertransport während Tagen und Wochen überleben können und dabei grosse Distanzen überwinden.

### Herzlich willkommen am neuen Ort

Bei sinkenden Wasserständen lagert sich Schwemmgut entlang der Uferbänke ab. In solchen Hochwassergenisten vollenden die transportierten Eier, Larven und Puppen ihre Entwicklung geschützt vor Austrocknung und UV-Strahlung. Abgelagertes Schwemmgut hat damit zusätzlich die Funktion einer Diasporenbank, von der über längere Zeiträume Besiedlungsprozesse ausgehen (Abb. 3). Nicht alle Tiere verlassen jedoch ihr Ausbreitungsmedium am neuen Standort. Ältere Hochwassergeniste weisen oft sogar höhere Individuendichten auf als schwimmendes oder frisch abgelagertes Schwemmgut. Hochwassergeniste sind deshalb nicht nur Ausgangsorte von Besiedlungsprozessen, sondern werden ihrerseits von Tieren aus angrenzenden Habitaten besiedelt. Auf diese Weise findet eine Durchmischung der angeschwemmten und der ansässigen Fauna statt.

### Vernetzung muss stimmen

Hydrochore Ausbreitung kann nur dann effizient sein, wenn alle drei der geschilderten Schritte (Eintritt, Transport und Besiedlung) von möglichst vielen Individuen erfolgreich absolviert werden. Entscheidend für den Ausbreitungserfolg ist neben der Verfügbarkeit ufernaher Lebensräume eine intakte Schwemmgutdynamik. Das bedeutet, dass Uferbereiche und Auen periodisch überschwemmt werden (hydrologische Konnektivität) und die

wässer gespült. Andere suchen treibendes Holz erst bei Hochwasser aktiv als Refugium auf. Versuche belegen, dass terrestrische Gehäuseschnecken fähig sind, sogar in der Strömung auf schwimmende Holzstücke zu gelangen [3]. Unter Entomologen und Malakologen ist seit langem

bekannt, dass Schwemmgutablagerungen Insekten- und Schneckenarten aus dem gesamten Einzugsgebiet enthalten können. Die Wirbellosenfauna im Schwemmgut der Aare ähnelt in ihrer Zusammensetzung stark derjenigen der Streuschicht in Waldböden

(Abb. 2). Streu zählt zu den individuenreichsten Mikrohabitaten mit bis zu 70 Individuen pro 100 g Trockengut. Die Individuendichten typischer terrestrischer Wirbelloser im Schwemmgut bewegen sich in derselben Grössenordnung.

## Im Namen des Gewässerschutzes werden jährlich Tausende Tonnen Äste, Bäume und Wurzelstöcke aus den Flüssen entfernt und vernichtet.

### Tagelang geschützt unterwegs

Ungefähr die Hälfte der terrestrischen Wirbelloser im Schwemmgut von Fließgewässern werden in Form von Eiern oder juvenilen Stadien transportiert. Dabei sind offen liegende Larven und Puppen vielfach beschädigt und nicht mehr lebensfähig. Im Inneren von morschem Holz, Pflanzenstängeln, Früchten und Gallen überstehen

longitudinale Durchgängigkeit der Flüsse und Bäche gewährleistet ist. Die ökologischen Folgen von Gewässerverbauungen und Entnahmen von Schwemmgut an Wasserkraftwerken müssen deshalb auch mit Fokus auf die hydrochore Ausbreitung terrestrischer Organismen und die Erhaltung der biologischen Vielfalt entlang der Gewässerkorridore diskutiert werden.

### Schwemmgut und Wasserkraftnutzung

Die Gewässerschutzgesetze vieler europäischer Länder – darunter das der Schweiz – schreiben vor, dass an Wasserkraftwerken entnommenes Schwemmgut nicht mehr in die Gewässer zurückgeführt werden darf. Daraus ergibt sich eine paradoxe Situation: Im Namen des Gewässerschutzes werden jährlich Tausende Tonnen Bäume, Wurzelstöcke und anderes pflanzliches Material aus den

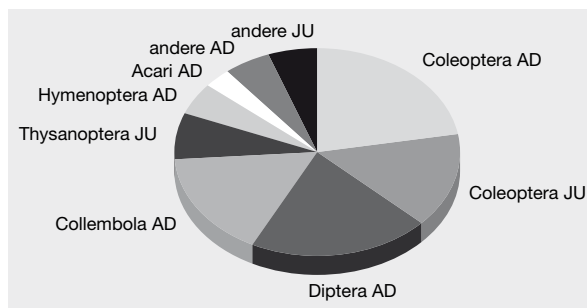


Abb. 2: Taxazusammensetzung der lebenden terrestrischen Wirbellosen im Schwemmgut der Aare am Rechen des Wasserkraftwerks Beznau; AD: adult; JU: juvenil. Die Schwemmgutproben wurden von April bis Juli 2004 gesammelt und jeweils während vier Wochen im Labor gelagert. Ausgewertet wurden alle terrestrischen Wirbellosen (Makroinvertebraten), welche die Proben in diesem Zeitraum verliessen.

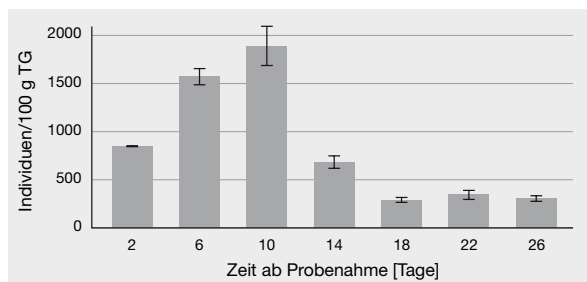


Abb. 3: Auswanderung terrestrischer Wirbelloser aus Schwemmgut der Aare in 4-Tages-Intervallen. Die Balken entsprechen den Individuen, welche die eintrocknenden Schwemmgutproben im Labor über einen Zeitraum von vier Wochen verliessen (Mittelwerte und Standardabweichung). Offensichtlich nutzen viele der verfrachteten Kleintiere ihr Transportmedium nach dem Trockenfallen noch längere Zeit als Refugium und verlassen es erst allmählich. (TG = Trockengewicht)

Flüssen entfernt und vernichtet, trotz übereinstimmender Belege, dass diese Naturstoffe für die ökologische Qualität der Gewässer von hervorragender Bedeutung sind [4]. Die heutige Entnahmepaxis stellt einen massiven Eingriff in den ökologischen Haushalt der Fließgewässer dar. Eine Studie aus Schweden zeigt, dass Stauhaltungen die Menge des Schwemmgutes um bis zu 90 Prozent reduzieren, was zu einer signifikanten Abnahme der lokalen und regionalen Vielfalt der Ufervegetation führt [5]. Für den Unterlauf der Aare zwischen Bielersee und Rhein wurde berechnet, dass während eines Hochwassers im Juni 2004 an fünf Wasserkraftwerken 62 Prozent der Schwemmgutfracht entfernt worden waren. Im Mittel entnehmen die 13 Wasserkraftwerke zwischen Bielersee und Rhein 6104 Tonnen Schwemmgut pro Jahr, was rund 750 Lastwagenladungen entspricht. Dabei werden schätzungsweise jeweils 800 Millionen lebende terrestrische Wirbellose «mitentsorgt».

Praxistaugliche Erkenntnisse über die Effekte einer wiederhergestellten Schwemmgutdynamik auf die Lebensgemeinschaften entlang von Fließgewässern könnten in naher Zukunft wissenschaftlich begleitete Pilotprojekte zur Wiedereinspeisung von Schwemmgut an Wasserkraftwerken liefern. Voraussetzung dafür wäre in der Schweiz eine neue Interpretation des Verbots, Rechengut (Abb. 1) wieder in die Gewässer einzubringen. ○ ○ ○

- [1] Trottmann N. (2004): Schwemmgut – Ausbreitungsmedium terrestrischer Invertebraten in Gewässerkorridoren. Diplomarbeit. Eawag/ETH Zürich.
- [2] Langhans S. D. (2000): Schwemmgut: Indikator der ökologischen Integrität einer Flusssau. Diplomarbeit. Eawag/ETH Zürich.
- [3] Tenzer C. (2003): Ausbreitung terrestrischer Wirbelloser durch Fließgewässer. Dissertation. Philipps-Universität, Marburg.
- [4] Tockner K., Langhans S. D. (2003): Die ökologische Bedeutung des Schwemmgutes. Wasser Energie Luft 95 (11): 353–354.
- [5] Andersson E., Nilsson C., Johansson M. E. (2000): Effects of river fragmentation on plant dispersal and riparian flora. Regulated Rivers: Research and Management 16: 83–89.

# Wissen woher das flussnahe Grundwasser kommt

**Wird ein kanalisierter Fluss renaturiert, gewinnt die Natur. Ob die neuen Freiheiten aber flussnahe Trinkwasserfassungen gefährden können, muss sorgfältig abgeklärt werden. Die Eawag hat dazu an der Thur eine Methodik entwickelt, die auch andernorts angewendet werden kann.** Jürg Zobrist, Eduard Hoehn, Markus Hofer und Rolf Kipfer

In den Flusstälern mit eiszeitlichem Schotter liegen diejenigen Grundwasserleiter mit den mengenmässig bedeutendsten Trinkwasserressourcen. Die Infiltration von Flusswasser sorgt für einen steten Nachschub an Grundwasser. Während der Untergrundpassage erfolgt vielerorts eine genügende Selbstreinigung, so dass die qualitativen Anforderungen an das Trinkwasser erreicht werden. Für die Beurteilung des Gefährdungspotenzials eines flussnahen Grundwasserpumpwerks durch Verunreinigungen aus dem Flusswasser oder als Folge einer fassungsnahe Flussrenaturierung müssen neben den mikrobiologischen und chemischen Kenndaten auch die Verweilzeit (Alter) des Flussinfiltrats im Untergrund und sein Anteil am geförderten Wasser bekannt sein.

## Grosses Messprogramm

Als Beitrag zum besseren Verständnis dieses Problemkreises wurde ergänzend zum Rhone-Thur-Projekt und in Zusammenarbeit mit dem

Amt für Umweltschutz des Kantons Thurgau das Grundwasserfeld einer thurnahen Trinkwasserfassung umfassend chemisch (geochemische, anorganische und organische Spurenstoffe), tracerhydrologisch (Umweltisotope Rn und  $^3\text{H}/^3\text{He}$ , Schwefelhexafluorid und Fluorchlorkohlenwasserstoffe) untersucht. Im Querschnitt von der Thur zum Pumpwerk wurden zudem an verschiedenen Stellen der Wasserstand, die elektrische Leitfähigkeit und die Wassertemperatur kontinuierlich registriert. Konzeptuell sind die in dieser Studie angewandten experimentellen Verfahren und die erhaltenen Ergebnisse auch auf andere Grundwasserpumpwerke in Flussnähe übertragbar.

Die Ergebnisse der zum Teil neuartigen Auswertungsmethoden zeigen, dass sich im gepumpten Grundwasser drei verschiedene hydro-geochemische Wassertypen nachweisen lassen:

► Junges Thurinfiltrat, das eine mittlere Verweilzeit im Untergrund von  $34 \pm 12$  Tagen bei Niederwasser in der Thur und  $16 \pm 5$  Tagen bei Hochwasser aufweist. Erste Anteile von Hochwasserinfiltrat können bereits nach einigen Tagen nachgewiesen werden. Das junge Thurinfiltrat ist lokalen Ursprungs.

► Älteres Thurinfiltrat, das weiter flussaufwärts in das Grundwasser übergetreten ist.

Die drei Wassertypen von Grundwasser in einem flussnahen Pumpwerk.

1: junges Flussinfiltrat lokalen Ursprungs;  
2: älteres Flussinfiltrat von weiter oberstrom;  
3: «echtes» Grundwasser aus der Versickerung von Niederschlagswasser; F: Fluss;  
P: Grundwasserpumpwerk oder Piezometer.  
Die relativen Anteile der 3 Grundwassertypen in P variieren mit der Zeit infolge variabler Wasserspiegelhöhen im Fluss.



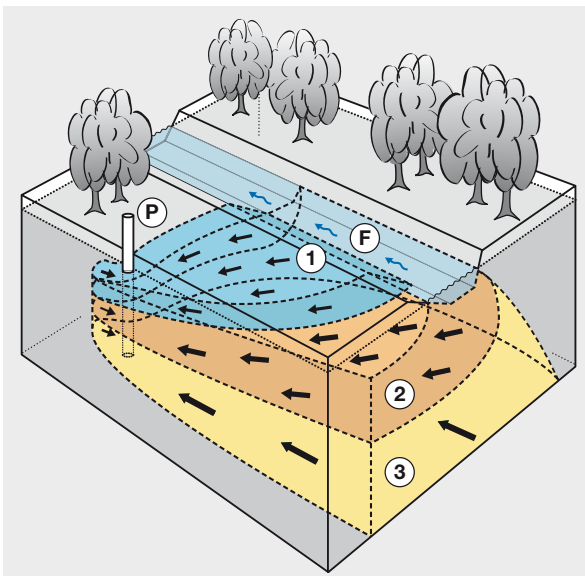
Renaturierte Thur bei Altikon.

► «Echtes» Grundwasser, das seitlich zufliesst und von der Versickerung von Niederschlagswasser und Hangwasser stammt. Es hat eine Verweilzeit im Untergrund von wenigen Jahren.

Der Anteil an jungem und älterem Thurinfiltrat in der Trinkwasserfassung beträgt 70–85%. Bei Hochwasser liegt der Anteil an jungem Thurinfiltrat bei  $35 \pm 10\%$ .

## Kritische Grössen eruiert

Muss die Auswirkung einer Renaturierung auf eine flussnahe Trinkwasserfassung beurteilt werden, stellen die Verminderung der Verweilzeit des jungen Hochwasserinfiltrats und die Erhöhung des Anteils von Hochwasserinfiltrat am gepumpten Grundwasser die kritischen Grössen dar. Denn beide Tendenzen bergen die Gefahr, dass verschmutztes Wasser ohne ausreichende Reinigung im Grundwasser in die Fassung gelangt.



Projektteam Eawag, Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser, März 2005, Beurteilung der Herkunft des Grundwassers in der Trinkwasserfassung Widen, Frauenfeld; Schlussbericht zuhanden des Amtes für Umwelt, Kanton Thurgau.

# Entscheide über Revitalisierungen unterstützen

**Zur wissenschaftlichen Unterstützung von Behörden und Politikern bei Weichenstellungen im Umweltmanagement ist an der Eawag, basierend auf Techniken der Entscheidungsanalyse, eine Methodik erarbeitet worden. Sie dient der Analyse des Entscheidungsproblems, dem Einbezug Betroffener und Beteiligter, der Erarbeitung besserer Alternativen und der transparenten Begründung von Beschlüssen.**

Peter Reichert, Mark Borsuk, Markus Hostmann, Steffen Schweizer, Christian Spörri, Klement Tockner und Bernhard Truffer

Entscheide über Umweltmassnahmen sind schwierig wegen der grossen Unsicherheit der Prognosen über Konsequenzen, sich gegenseitig beeinträchtigenden Zielen, der Verschiedenheit der Perspektiven von Betroffenen und Beteiligten und auch wegen komplizierter institutioneller Entscheidungswege. Techniken der Entscheidungsanalyse sind nützlich, weil sie Entscheide verbessern und deren Kommunikation erleichtern können, indem das Entscheidungsproblem strukturiert wird, Ziele explizit erhoben und dargestellt werden und schliesslich Prognosen und Bewertungen klar voneinander getrennt werden.

## Strukturierte Entscheide

Im vorliegenden Projekt werden diese Techniken angewendet, um die Auswahl einer Fliessgewässer-Revitalisierungsalternative für die Teilstrecke der Thur zwischen Bürglen und Weinfelden zu erleichtern. Die

Methodik ist in die folgenden sieben Stufen gegliedert:

1. Definition des Entscheidungsproblems: Analyse von ökologischen, hochwasserschutztechnischen und sozioökonomischen Defiziten.
2. Identifikation von Zielen und Attributen. Erstellen einer Zielhierarchie, die als Grundlage dient bei der Definition von Attributen zur Quantifizierung der Ziele und zur Erhebung der Präferenzen.
3. Identifikation und Vorauswahl von Alternativen: Vier Revitalisierungsalternativen wurden erarbeitet, die sich im Mass der Aufweitung des Flussbetts und in der Grösse und Nutzung eines Hochwasserrückhaltebeckens unterscheiden.
4. Vorhersage von Konsequenzen der Alternativen: Ein integratives Modell zur Schätzung der Konsequenzen der Alternativen ist in Erarbeitung. Es besteht aus Modulen für Morphologie und Hydraulik des Fliessgewässers, für Ufervegetation, für Lebensgemeinschaften der Gewässersohle, für Abundanzen von ufernahen terrestrischen Wirbellosen, für Fischfauna und für die Auswirkungen auf Arbeitsplätze in der Landwirtschaft. Die Abbildung veranschaulicht die Verknüpfung dieser Teilmodelle zu einem integrativen Modell.

5. Quantifizierung der Präferenzen: Die Präferenzen der Beteiligten- und Betroffenengruppen wurden erhoben und mit provisorischen Prognosen verknüpft.

6. Rangierung der Alternativen: Diese führte zu einer Rangierung der Alternativen für jede Betroffenengruppe.

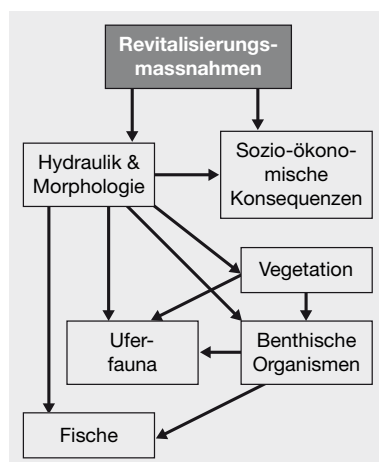
7. Analyse der Resultate: Der Vergleich der resultierenden Rangierungen verschiedener Betroffenengruppen führte zur Analyse des Konflikt-

potenzials der Alternativen (stark verschiedene Rangierung für verschiedene Betroffenengruppen) und zur Erarbeitung einer Kompromissvariante mit höherer Akzeptanz.

## Positive Erfahrungen

Die erste projektbegleitende Anwendung der beschriebenen Methodik auf die Diskussion von Revitalisierungsalternativen für eine Teilstrecke der Thur wurde von den Beteiligten sehr positiv aufgenommen. Insbesondere empfanden sie den Verständnissgewinn über das Entscheidungsproblem und die Ursachen divergierender Meinungen und den Beitrag zur Konsensfindung als positiv. Die beteiligten Amtsstellen des Kantons Thurgau sind interessiert, die Methodik bei weiteren Entscheidungsproblemen einzusetzen. Wir sind überzeugt davon, dass die Methoden und Resultate, die in diesem Projekt erarbeitet wurden, Umweltmanager bei ihrer Arbeit wesentlich unterstützen können. Sie können auch als Instrument für die Beratungstätigkeit der Eawag dienen.

○ ○ ○



Grobstruktur des integrativen Modells zur Abschätzung der Konsequenzen von Flussrevitalisierungsmassnahmen.

Eisenführ F., Webet M. (2002): Rationales Entscheiden, Springer.

Hostmann M., Truffer B., Reichert P., Borsuk M. E.: Stakeholder values in decision support for river rehabilitation, Archiv für Hydrobiologie, Large River Supplement, in press.

Reichert P., Borsuk M. E., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B.: Concepts of Decision Support for River Rehabilitation. Environmental Modelling and Software, in press.

# Aarefische fühlen sich wohl

**Dank der Nähe zur Aare sind die Fische sehr rasch in den künstlich angelegten Wildibach eingewandert. Nebst hohen Fischdichten konnte auch die hohe Zahl von 24 Fischarten beobachtet werden. Das Wiederanbinden von Alt- und Seitengewässern in Auengebieten wird deshalb als Revitalisierungsmassnahme mit hohem Erfolgspotenzial eingestuft.** Lukas Boller, Dave Würmli, Tom Gonser, Armin Peter

Der Wildibach bei Brugg wurde als Revitalisierungsmassnahme im Rahmen des «Auenschutzparks Aargau» im Jahr 2003 künstlich geschaffen und Ende Dezember 2003 geflutet. Er ist eine Verlängerung des naturfernen Badkanals, durchfliesst den Auenwald und mündet nach 1300 m in die Restwasserstrecke der Aare.

## Die nachgewiesene Artenzahl entspricht fast der gesamten in der Region vorkommenden Fischfauna

Von grossem Interesse war es, die Besiedlungsgeschwindigkeit durch wirbellose Tiere und Fische im neu erstellten Gewässer zu verfolgen. Zwischen April und September 2004 wurde untersucht, wie sich die Habitate sowie die Benthos- und Fischfauna entwickeln. Die Resultate wurden mit dem kanalartigen Oberlauf des Baches sowie mit einem vor 15 Jahren ebenfalls künstlich angelegten Seitengerinne der Aare (Freykanal) verglichen.

Die benthischen Makroinvertebraten wurden quantitativ mit einem Hess-Sampler beprobt. Die Fischfauna im Wildibach wurde in zehn Abschnitten quantitativ elektrisch befischt. Die Habitatsaufnahmen erfolgten durch Analyse verschiedener Parameter:

Querprofile, Mesohabitate, Fischunterstände, Substrat, Beschattung, Verzahnung und Randbiotope.

### In 4 Monaten schon 12 Arten

Der neue Lebensraum des Wildibachs wurde sehr rasch besiedelt. Bereits am 20. April 2004, rund vier Monate nach der Flutung des Gerinnes, konnten 12 Fischarten gefangen werden. Bis anfangs September konnten wir 24 Fischarten und teilweise hohe Fischdichten (100–600 Individuen pro 100 m<sup>2</sup>) nachweisen. Diese Artenzahl entspricht fast der gesamten in der Region vorkommenden Fischfauna (für die Aare im Kanton Aargau sind 32 Fischarten bekannt). Die meisten nachgewiesenen Fischarten (z. B. Flussbarsch, Rotauge) sind nur in geringem Ausmass von Strukturen abhängig.

Die Geschwindigkeit der Besiedlung eines neuen Lebensraums hängt vor allem von der Nähe und Grösse eines Artenpools, vom Vernetzungsgrad sowie der Habitatsqualität ab. In den Restbeständen der Aareauen zwischen Wildegg und Brugg ist dieser Artenpool noch vorhanden und der Wildibach ist als Seitenarm der Aare direkt daran angeschlossen. Unsere Beobachtung ist vergleichbar mit den Resultaten im Marchfeldkanal (Österreich). Dieser Kanal wurde ebenfalls als neuer Lebensraum gebaut und ist an die artenreiche Donau angebunden [2]. Die Beobachtungen am Liechtensteiner Binnenkanal hingegen zeigten nur eine äusserst langsame Wiederbesiedlung der Fischarten [1]. Der dafür verantwortliche Faktor ist der reduzierte Artenpool im Alpenrhein mit geringen Fischdichten.

### Struktureichtum wächst

Der Vergleich mit dem Referenzgewässer (Freykanal) ergab, dass die

Artenvielfalt ähnlich ist, jedoch nicht die Fischbiomasse. Das liegt an der noch ungenügend entwickelten Habitatsqualität des Wildibaches. Für das Entstehen von strukturreichen Habitaten sind vermutlich mehrere Jahre nötig. Im Vergleich zum naturfernen Badkanal mit monotonen Habitaten wiesen die Strecken am Wildibach dank grosserer Habitatsvielfalt aber wesentlich höhere Dichten von Kleinfischen auf. Zusätzlich fanden wir gefährdete und stark gefährdete Arten wie die Nase (*Chondrostoma nasus*), die Äsche (*Thymallus thymallus*) sowie das Bachneunauge (*Lampetra planeri*). Das Vorkommen dieser sensiblen Arten ist fischökologisch als Erfolg zu bewerten.

Für das Zoobenthos ergab sich kein Zusammenhang mit der Fischdichte und der Qualität der Fischhabitate. Die Benthosgemeinschaft wurde von den funktionellen Ernährungsgruppen der Filtrierer, Sammler und Zerkleinerer dominiert.

Das Projekt Wildibach zeigt, dass die Schaffung neuer Lebensräume Erfolg verspricht, sofern in der Nähe grosse Artenpools vorhanden sind. Dies gilt vor allem für die Wiederanbindung von Alt- und Seitenarmen in Auengebieten. ○ ○ ○

Der künstlich angelegte Wildibach in der Aareue bei Brugg mit Blick Richtung Mündung in die Aare.



Eravag

- [1] Bohl E., Kindle T., Peter A. (2004): Fischfaunistische Untersuchungen zur Umgestaltung der Mündung des Liechtensteiner Binnenkanals in den Alpenrhein. Amt für Umweltschutz, Vaduz.
- [2] Schmutz S., Matheisz P., Pohn A., Rathgeb J., Unfer G. (1994): Erstbesiedlung des Marchfeldkanals aus fischökologischer Sicht. Österreichs Fischerei, 47 (7): 158–178.
- [3] Boller L., Würmli D. (2004): Sukzession der Fischfauna in einem neu geschaffenen Seitengerinne der Aare am Beispiel des Wildibachs. Diplomarbeit ETHZ.

# Ohridsee – einem Ursee den Puls gefühlt

**Der Ohridsee ist ein ökologisches Juwel. Doch seine unvergleichliche Artenvielfalt ist bedroht. In Zusammenarbeit mit dem Staatssekretariat für Wirtschaft und dem Mazedonischen Hydrobiologischen Institut hat die Eawag den See in den letzten drei Jahren unter die Lupe genommen. Potenzielle Gefahren sind erkannt. Vorschläge für Massnahmen werden erarbeitet.** Andreas Matzinger\*

Nicht umsonst wird der ausnehmend klare Ohridsee, im südlichen Balkan zwischen Mazedonien und Albanien, auch die «Blaue Perle» genannt. Seit 2001 arbeitet die Eawag zusammen mit dem Hydrobiologischen Institut in Ohrid und dem Staatssekretariat für Wirtschaft (seco). Das Ziel: Der älteste See Europas, ein Unesco-Welterbe mit über 150 Arten, die ausschliesslich im Ohridsee vorkommen, soll genügend verstanden werden, um ihn rechtzeitig vor negativen Einflüssen schützen zu können. Im Rahmen einer Doktorarbeit werden vom Menschen verursachte Veränderungen des Ohridsees analysiert. Die drei wichtigsten drehen sich um folgende Stichworte.

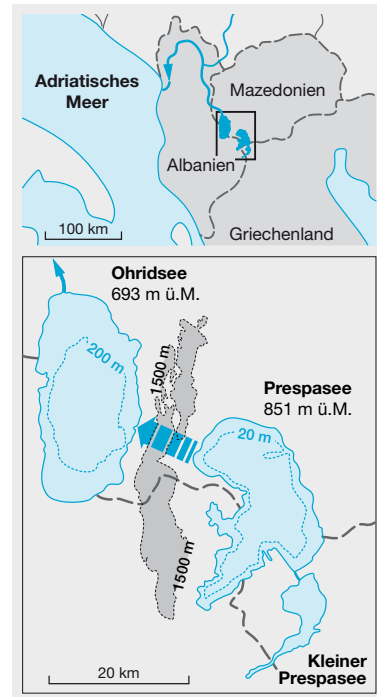
**Wasserverbrauch:** Die Bevölkerung im Einzugsgebiet des Ohridsees und mit ihr der Wasserverbrauch haben in den vergangenen Jahrzehnten stark zugenommen. Dies zeigt sich insbesondere am Prespasee (siehe Karte), dessen Seespiegel in den vergangenen zehn Jahren um etwa sechs Meter abgesunken ist. Die Auswirkungen am Ohridsee sind noch gering, da dieser zum grössten Teil aus Karstquellen gespeist wird, welche oft in dünn besiedelten Gebieten oder gar unter dem Seespiegel des Ohridsees liegen und nur zu einem kleinen Teil gefasst sind. Allerdings haben unsere Untersuchungen gezeigt, dass deren Wasser zu 37% vom Prespasee stammt; eine Wasserknappheit am Prespasee wird also auch für den Ohridsee Veränderungen bringen.

**Eutrophierung:** Parallel zur Bevölkerungsentwicklung hat der Phosphorgehalt des Sees zugenommen. Mit Hilfe von Messungen im Seesediment, im Seewasser und in den Hauptzuflüssen wurde für die letzten 100–150 Jahre eine Verdreifachung

der Phosphorkonzentration im See rekonstruiert. Nach wie vor ist die Konzentration aber sehr tief (rund 4,5 µg/l), vergleichbar etwa mit dem Vierwaldstättersee. Dennoch hat der Anstieg einen Effekt auf die speziellen Arten des Ohridsees, die sich an Nährstoffarmut angepasst haben. Kritisch wird die Situation vor allem für tief im See lebende Algenarten und Bodenorganismen, die von einer hohen Transparenz des Oberflächenwassers respektive einer ausreichenden Sauerstoffkonzentration über dem Seegrund abhängig sind. Neben den direkt eingeleiteten häuslichen Abwässern könnte der achtmal nährstoffreichere Prespasee eine Gefahr für den Ohridsee darstellen. Es konnte allerdings gezeigt werden, dass über 60% des vom Prespasee stammenden Phosphors im Untergrund zurückgehalten wird – eine spezielle Art einer natürlichen Kläranlage.

**Klimawandel:** Wie in den tiefen Schweizer Seen ist die Erwärmung der letzten 50 Jahre auch in Messreihen des Ohridsees sichtbar. Durch eine fortschreitende Erwärmung würde die Tiefendurchmischung des Ohridsees und damit die Sauerstoffzufuhr über dem Seegrund eingeschränkt. Da eine weitere Erwärmung wahrscheinlich nicht aufzuhalten ist, muss daher erst recht auf die Reduktion der Nährstoffzufuhr geachtet werden.

Die bisherige Forschung zeigt, dass der Ohridsee zwar nach wie vor in einem guten Zustand ist. Verschiedene eindeutige Veränderungen sind aber bereits eingetreten. Sie werden sich ohne Gegenmassnahmen in den



Die Lage der Grenzseen Ohrid und Prespa zwischen Albanien, Mazedonien und Griechenland. Der gestrichelte Pfeil zeigt einen unterirdischen Wasserfluss an.

nächsten Jahren verschärfen. Deshalb sind wir daran, die Effekte der Veränderungen in einer Computersimulation zu quantifizieren. Die Resultate werden zeigen, welche Massnahmen minimal nötig sind und den Staaten im Einzugsgebiet vorgeschlagen werden sollen, um die Einzigartigkeit des Sees zu erhalten.

○ ○ ○

- Matzinger A. et. al. (2005): Is Lake Prespa Jeopardizing the Ecosystem of Ancient Lake Ohrid? *Hydrobiologia*.
- Matzinger A. et. al. (2004): Lake Ohrid – a unique Ecosystem endangered by Eutrophication? International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support – BALWOIS, Ohrid, Macedonia.
- Matzinger A. and Wüest A. (2004): The Potential Role of Physical Processes in the Formation and Degradation of a Unique Ecosystem – Towards a Systems Analysis of Lake Ohrid. 8<sup>th</sup> European Workshop on Physical Processes in Natural Waters, Lund, Sweden.

\* mit Unterstützung von M. Schurter, R. Stierli, B. Sinnet, B. Müller, M. Sturm, A. Wüest (alle Eawag) und D. Wild (seco) sowie des Hydrobiologischen Institutes Ohrid.

# Kieselsäure auch nach dem Stausee im Strom

**Verändern grosse Stauräume den Nährstofftransport von den Kontinenten zu den Küstenmeeren? Am Eisernen Tor, dem grössten Donaustausee, konnte nachgewiesen werden, dass Berichte über einen signifikanten Rückhalt von gelöster Kieselsäure nicht zutreffen.** Christian Teodoru, Gabriela Friedl, Bernhard Wehrli

Kieselsäure wird als Produkt der Verwitterung und Bodenbildung in Seen und Meere eingetragen. Dort wird dieser Siliziumnährstoff von Kieselalgen (Diatomeen) genutzt, um eine schützende Hülle zu produzieren. Diese Algen setzen sich relativ rasch ab, das Silizium akkumuliert im Sediment und der Stoff bleibt dem Wasserkreislauf über geologische Zeiträume entzogen.

**Nur direkte Messmethoden können die Effekte im Stausee verlässlich bestimmen.**

In den letzten 50 Jahren sind an über 60 % der grossen Flusssystemen der Welt etwa 40 000 grosse Staudämme gebaut worden. Die Gesamtfläche

der Stauseen ist mehr als 10-mal so gross wie die Schweiz. Wenn Flüsse langsam zu Seen werden, liegt die Vermutung nahe, dass sich auch die chemische Zusammensetzung der fliessgewässer verändert.

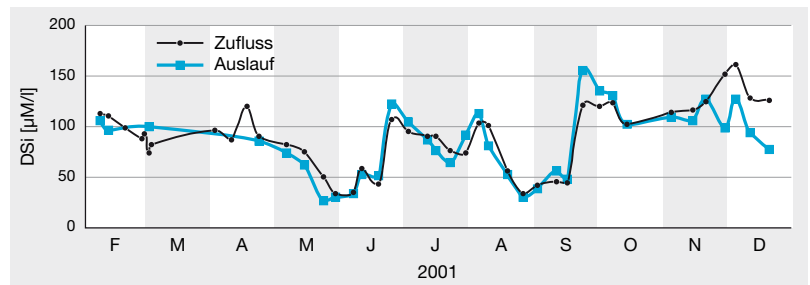
## 1997: Werte abgeschätzt

Im Jahre 1997 ist deshalb eine Studie über den Siliziumrückhalt im Donaustausee am Eisernen Tor zwischen Rumänien und Serbien auf grosses Echo gestossen [1]. Die Autoren hatten Zeitreihen der Kieselsäurekon-

Die aufgestaute Donau am Eisernen Tor zwischen Rumänien und Serbien.



Eawag



Konzentration von gelöster Kieselsäure in Mikromol pro Liter am Zufluss und am Auslauf des Donaustausees Eisernes Tor. Der Vergleich der beiden Zeitreihen zeigt nur geringe Unterschiede. Im Jahresverlauf werden rund 4 % des Eintrags im Stausee zurückgehalten. In Winter wird Kieselsäure aus den Sedimenten mobilisiert.

zentration an der Donaumündung ausgewertet und dabei festgestellt, dass die Konzentration genau im Jahr 1975 abgenommen hatte, als der Stausee am Eisernen Tor geschlossen wurde. Mit indirekten Methoden wurde abgeschätzt, dass durch die Sedimentation von Diatomeen im Stauraum über 600 000 Tonnen Silizium pro Jahr zurückgehalten werden könnten. Eine derart verminderte Fracht von Kieselsäure bei zunehmenden Phosphor- und Stickstoffeinträgen wäre für das Küstenökosystem des Schwarzen Meeres sehr kritisch. Das fehlende Wachstum der Diatomeen könnte den Nährstofftransport in die Sedimente vermindern; die Überdüngung würde verschärft.

## 2004: Werte gemessen

Im Rahmen einer bilateralen Zusammenarbeit hat ein Team der Eawag, des Instituts GeoEcoMar in Bukarest und des Instituts Forel in Genf die Nährstoffbilanz am Eisernen Tor mit direkten Methoden analysiert. Während 11 Monaten wurden unter anderem regelmässig die Zufluss- und Abflusskonzentrationen von Silizium gemessen. Die Abbildung vergleicht die Kieselsäurekonzentrationen am Zufluss bei Bazias, etwa 100 km ober-

halb des Staudamms, mit der Situation am Auslauf [2]. Die Auswertung ergab, dass nur etwa 4 % des Eintrags oder 16 000 Tonnen Silizium pro Jahr im Stauraum zurückgehalten wurden. Der Stausee ist zwar für Wanderfische wie den Stör ein unüberwindbares Hindernis, die Veränderungen der Nährstoffkreisläufe sind jedoch geringer, als bisher angenommen, weil die Wasseroberfläche in der engen Schlucht nur gering ist. Das Algenwachstum bleibt in der fliessstrecke gering und hohe Sedimentationsraten sind nur in Buchten und vor dem Staudamm zu beobachten. Stauseen mit grosser Oberfläche und längerer Aufenthaltszeit dürften den Nährstofftransport stärker verändern. Nur direkte Messmethoden können jedoch solche Effekte verlässlich bestimmen. ○ ○ ○

[1] Humborg C., Ittekkot V., Cociasu A., Bodungen B. V. (1997): Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure. *Nature* 386: 385–388.

[2] Friedl G., Teodoru C., Wehrli B. (2004): Is the Iron Gate I reservoir on the Danube River a sink for dissolved silica? *Biogeochemistry* 68, 21–32.

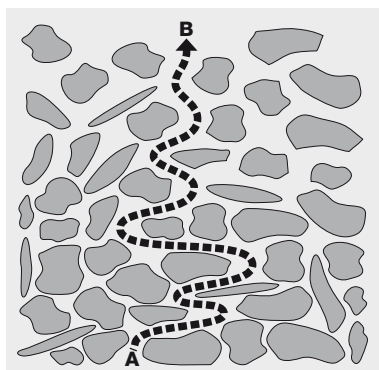
# Moleküle und Ionen unterwegs zwischen Wasser und Sediment

**Dank einem miniaturisierten Widerstandssensor konnten erstmals die Sedimenteigenschaften Tortuosität und Porosität in einem See mit hoher räumlicher Auflösung gemessen werden. Diese Grössen spielen eine wichtige Rolle beim diffusiven Stofftransport durch das Sediment.** Beat Müller, Martin Maerki und Bernhard Wehrli

Wie kommt eigentlich der Sauerstoff aus dem Seewasser ins Sediment? Oder wie gelangt Phosphat aus dem Sediment hinaus? An der Sediment-Wasser-Grenze und im Sediment-Porenwasser werden Moleküle und Ionen nur noch durch molekulare Diffusion transportiert. Die treibende Kraft für diesen Stofftransport sind räumliche Konzentrationsunterschiede, welche mit heutiger Technik in Submillimeter-Auflösung bestimmt werden können. Anhand von Konzentrationsprofilen lässt sich damit der diffusive Stofftransport für jedes Molekül und Ion, wie beispielsweise Sauerstoff oder Phosphat, berechnen: also wie viel Sauerstoff pro Fläche und Zeit ins Sediment transportiert wird oder wie viel Phosphat aus dem Sediment rückgelöst wird.

## Längerer Weg als Widerstand

Im Sediment wird die Diffusion der gelösten Stoffe durch die abgelagerten Partikel behindert, sodass Moleküle und Ionen um die Partikel herum transportiert werden müssen (Abb.). Sedimentpartikel verlangsamen also



Porosität charakterisiert den Anteil des Porenraums im Verhältnis zum gesamten Volumen. Tortuosität bezeichnet das Verhältnis zwischen der durch die Partikel verlängerten Wegstrecke zum kürzesten Weg von A nach B.



Ein Sedimentkern mit der Jahresschichtung. Schon in wenigen Zentimetern Tiefe steigt der Widerstand für den Stofftransport stark an.

den Stofftransport. Der Einfluss der Sedimentmatrix auf den Stofftransport kann durch die Charakterisierung der Porosität und Tortuosität quantifiziert werden: Mit der Porosität wird der Anteil des Porenraums am Gesamtvolumen beschrieben, mit der Tortuosität das Verhältnis zwischen dem längeren Weg – den ein gelöstes Molekül oder Ion um die Partikel herum von A nach B machen muss – und dem kürzesten Weg. Da die Bewegung von Ionen vergleichbar mit der von Elektronen ist, wirkt sich der längere Weg als eine Erhöhung des elektrischen Widerstands aus und kann mit einem Widerstandssensor gemessen werden. Bedingung für eine störungsfreie Messung im Sediment ist eine konstante Ionenstärke, die aber aufgrund von Abbauprozessen in den obersten Sedimentschichten nicht vorausgesetzt werden kann. Deshalb wurde das Sediment einer

Kaliumchloridlösung ausgesetzt, die diese Schwankungen überdeckt.

## Anstieg schon in 2 cm Tiefe

In so vorbereiteten Sedimentkernen aus verschiedenen Tiefen des Zugersees wurden mit einem miniaturisierten Widerstandssensor räumlich hoch aufgelöste Profile des elektrischen Widerstands gemessen, woraus sich der Einfluss der Sedimentpartikel auf den Stofftransport ableiten lässt. Der Stofffluss im Sediment korrigiert sich demnach gegenüber dem Stofffluss in partikel-

**Je kompakter das Sediment ist, desto grössere Umwege müssen Ionen und Moleküle machen**

freiem Wasser mit dem Formationsfaktor  $F$ . Das macht nahe der Sedimentoberfläche einige Prozente aus und nimmt typischerweise mit zunehmender Tiefe zu, weil die Porosität abnimmt und das Sediment kompakter wird. Im Falle des Zugersees wird schon 2 cm unter der Sedimentoberfläche der Fluss von Ammoniumionen durch die Partikel um 25% reduziert. Dieser Formationsfaktor wurde in Zugerseesedimenten als Funktion der Porosität ( $\phi$ ) als  $F = 1,02\phi - 1,81$  bestimmt und ist auf andere Sedimente mit ähnlicher Zusammensetzung anwendbar. ○ ○ ○

Maerki M., Wehrli B., Dinkel Ch., Müller B. (2004): The influence of tortuosity on molecular diffusion in freshwater sediments of high porosity. *Geochim. Cosmochim. Acta* 68(7), 1519–1528.

# Wenn Forscher schlafen

**Lange wurde angenommen, der mikrobielle Abbau stehender Althalmes sei eine vernachlässigbare Größe im Kohlenstoffkreislauf von Röhrichten. Diese Annahme muss revidiert werden, wie Untersuchungen am Neuenburger- und Hallwilersee zeigen. Denn Mikroorganismen werden unbemerkt aktiv, wenn bei Abkühlung die Luftfeuchtigkeit steigt – nachts, wenn Forscher schlafen.** Mark O. Gessner, Kevin A. Kuehn, Daniel Steiner

Chemische und biologische Prozesse werden bei erhöhter Temperatur gewöhnlich beschleunigt. Dies gilt jedoch nur dann, wenn nicht gleichzeitig andere Faktoren begrenzend wirken. Für den mikrobiellen Abbau von Schilf-Althalmes in Röhrichten ist Wasser ein solch entscheidender Faktor. Befeuchtet man im Röhricht gesammeltes abgestorbenes Schilfmateriale, reagieren die Mikroorganismen fast ohne zeitliche Verzögerung. Innerhalb von 5 Minuten schnell ihre

Aktivität von null auf maximale Leistung (Abb. 1). Mit Austrocknung des Materials sinkt sie wieder kontinuierlich unter die Nachweisgrenze. Dieser zeitliche Verlauf entspricht einem Regenereignis im Freiland.

## Zunahme bei Abkühlung

Bei trockenem Wetter sind die Verhältnisse komplizierter (Abb. 2). Tagsüber ist keine mikrobielle Aktivität messbar. Sinken jedoch am Abend und in der Nacht die Temperaturen, nimmt die relative Feuchtigkeit der Luft zu. Dadurch steigt auch der als Wasserpotenzial gemessene Feuchtigkeitsgehalt der Schilfhalmes und damit die Abbauprodukt der Mikroorganismen. Wie in den künstlichen Befeuchtungsversuchen im Labor werden sie unmittelbar aktiv, bis sie am nächsten Tag nach Aufgehen der Sonne, Erwärmung der Luft und Austrocknung des Pflanzenmaterials ihre Aktivität wieder einstellen. Diese Zusammenhänge erklären die scheinbar paradoxe Situation, dass der biologische Abbauprozess mit der Temperatur nicht zu-, sondern abnimmt.

## Relevanter Anteil

Unsere Hochrechnungen auf der Basis von Messungen in Tag-Nacht-

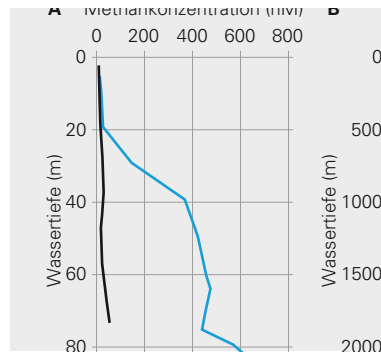


Abb. 1: Die sehr schnelle Reaktion der an schwankende Feuchtigkeitsbedingungen gut angepassten Mikroorganismen (vor allem Pilze) auf künstliche Befeuchtung und spätere Austrocknung. Die Wasserverfügbarkeit für die Mikroorganismen wurde als Wasserpotenzial gemessen. Messungen an Blattscheiden von Schilf, *Phragmites australis*, im November 1998.

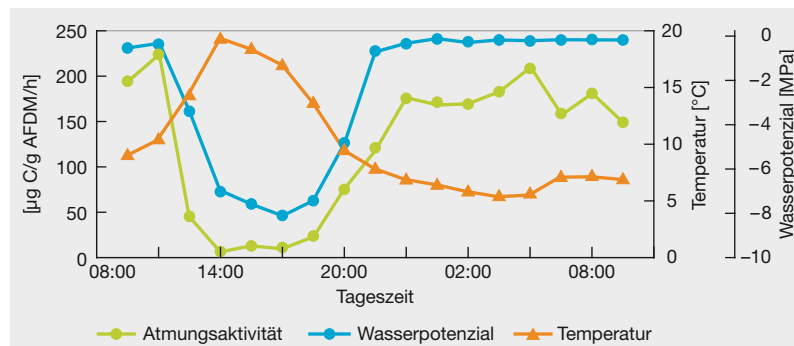


Abb. 2: Tag-Nacht-Gang der Lufttemperatur, des Wasserpotenzials abgestorbener Althalmes hängender Schilfblätter und der Atmungs- bzw. Abbauprodukt von Mikroorganismen.



Schilf, wie hier am Hallwilersee, wird bereits vor dem Umknicken abgebaut, wenn die Luftfeuchtigkeit genügend hoch ist.

Gängen zeigen, dass der mikrobielle Abbau stehender Althalmes in einer für den Gesamtkohlenstoffumsatz des Schilfröhrichts relevanten Größenordnung liegt [1]. Über das Jahr werden in dieser Phase rund 10% der enorm hohen Pflanzenproduktion abgebaut. Für die Fraktion der Blattscheiden beträgt der Abbau sogar fast 30% der Produktion. Diese Werte decken sich gut mit sowohl standörtlich als auch methodisch unabhängigen Messungen an Schilfblättern, deren Gewichtsverlust im Herbst ebenfalls 30% betragen kann und sich zur Hälfte durch mikrobielle Aktivität erklären lässt [2]. ○ ○ ○

[1] Kuehn K.A., Steiner D., Gessner M.O. (2004): Diel mineralization patterns of standing-dead plant litter: Implications for CO<sub>2</sub> flux from wetlands. *Ecology* 85, 2504–2518.

[2] Gessner M.O. (2001): Mass loss, fungal colonisation and nutrient dynamics of *Phragmites australis* leaves during senescence and early decay in a standing position. *Aquatic Botany* 69, 325–339.

# Koexistenz dank wechselhaften Umweltbedingungen

**Jede Art, ob Mikroorganismus, Pflanze oder Tier, ist an spezielle Umweltbedingungen angepasst. Die Abteilung Limnologie beweist mit einem Modell für Algenkulturen: Wechselnde Verhältnisse fördern das Zusammenleben von Organismen.** Peter Bossard, Elena Litchman und Christopher Klausmeier

Stellen Sie sich zwei Algen vor, die miteinander im selben Gefäss wachsen. Die physiologischen Eigenschaften und die Ansprüche der beiden Algen an den Nährstoff Phosphat sind grundsätzlich für beide gleich. Sie unterscheiden sich nur in einem Punkt: Alge X kann bei viel Licht (an einem langen Tag) den wachstumsbegrenzenden Nährstoff Phosphat schneller und effizienter aufnehmen als Alge Y. Bei wenig Licht (an einem

kurzen Tag) ist es hingegen umgekehrt. Die Phosphoraufnahme von Alge Y ist lichtunabhängig und gleich gross bei Tag wie bei Nacht. Somit wächst bei einem hohen Lichtanteil Alge X schneller, bei einem tiefen hingegen Alge Y. Mit diesen Annahmen haben wir Modellberechnungen durchgeführt und folgende Resultate erhalten.

## Effizienz bringt Vorteile

Je schneller und effizienter eine Alge das begrenzte Phosphatangebot aufnehmen kann, bei einer umso tieferen Phosphatkonzentration im Medium kann sie noch wachsen. Für unser Beispiel mit Alge X und Y ist die Schwelle – die «Break-even»-Konzentration ( $R^*$ ), unterhalb der Alge Y gegenüber Alge X im Vorteil ist – von der Tageslänge (Tag/Nacht-Verhältnis) abhängig (Abb. 1).

Dauerbelichtung (konstante Lichtintensität) und konstant tiefes Phosphatangebot bevorteilt nach einigen Tagen und Wochen Alge X, weil sie das begrenzte Phosphatangebot schneller und effizienter aufnehmen kann. Beträgt der Tag-Nacht-Rhythmus 12 Stunden hell und 12 Stunden dunkel, so wachsen nach diesen Modellannahmen beide Algen X und Y gleich schnell.

## Experiment bestätigt Modell

Interessant wird es, wenn man das Verhältnis des Tag-Nacht-Rhythmus nur ein wenig entweder zugunsten des Tages ( $p = 0,6$ ; Abb. 2a) oder zugunsten der Nacht ( $p = 0,4$ ; Abb. 2b) verschiebt. Nun stellt man fest, dass schon bei kleinen Unterschieden des Tag/Nacht-Verhältnisses einmal die eine und dann die andere Alge bevorteilt wird und überhand nehmen kann. Mit dieser grundlegenden Erkenntnis kann auch die Koexistenz

verschiedener Algen erklärt werden. Vergleichen wir zum Beispiel im See das Wachstum zweier Algen während einer Schlechtwetterperiode und einer Schönwetterperiode, so erhalten wir ähnliche Ergebnisse wie in den Abbildungen 2a und 2b. Wenn sich kurze Schlechtwetterperioden häufig mit Schönwetterperioden abwechseln, ist die Koexistenz dieser zwei Algen möglich. Ein paar Tage lang geht es Alge X besser, dann wendet sich das Blatt zugunsten von Alge Y, und so weiter. Solche Situationen haben wir mit Algenkulturen in Laborexperimenten durchgespielt, um die Modellrechnungen zu bestätigen. Das rechnerische Beispiel kann mit verschiedensten Umweltparametern durchgespielt werden und veranschaulicht somit einen eminent wichtigen ökologischen Mechanismus: wechselhafte Umweltbedingungen fördern das Zusammenleben von Organismen. ○ ○ ○

**Unser Modell erklärt, weshalb im gleichen Lebensraum verschiedene Arten nebeneinander existieren können.**

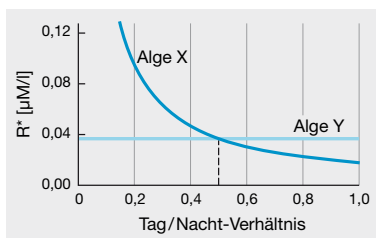


Abb 1: Berechnete Annahmen für die Break-even-Konzentrationen  $R^*$  im Medium für die Algen X und Y. Ein Verhältnis von 0,5 steht für 12 Stunden Tag und 12 Stunden Nacht in einem 24-Stunden-Rhythmus; bei 0 ist es immer dunkel, bei 1 immer hell.

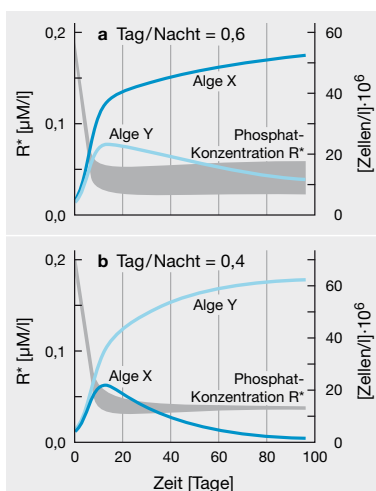


Abb 2: Modellberechnungen für die zeitliche Entwicklung der Zellzahlen für die Algen X und Y unter verschiedenen Tag-Nacht-Verhältnissen.

Litchman E., Klausmeier C. A. and Bossard P. (2004): Phytoplankton nutrient competition under dynamic light regimes. *Limnology and Oceanography* 49, 1457–1462.

Litchman E., Steiner D. and Bossard P. (2003): Photosynthetic and growth responses of three freshwater algae to phosphorus limitation and day-length. *Freshwater Biology* 48, 2141–2148.

# Stoffe

## Chemikalien und Effekte

# Wasser

**Die Eawag ist ein international anerkanntes Kompetenzzentrum für Umwelt-  
risikobewertung im Bereich Wasser- und Gewässerqualität. Sie liefert Grund-  
lagen für die Diskussion um Grenzwerte und treibt die moderne Analytik  
voran. Nebst Schadstoffen aus industrieller Produktion werden auch natürliche  
Problemstoffe biologischen und geologischen Ursprungs untersucht.**

Die Eawag leistet international massgebende Beiträge zur Abschätzung und Bewertung der Risiken von stofflichen Gewässerbelastungen. Im Zentrum steht die Forschung über das Verhalten und die Effekte von Chemikalien und Metallen in der aquatischen Umwelt. Gemeinsam mit Industrie, Behörden und anderen Akteuren – wie Landwirtschaft oder Medizin – werden Methoden erarbeitet, um Stoffe zu bewerten, und Massnahmen vorgeschlagen, um Umweltprobleme zu vermeiden oder zu minimieren. Besonderes Augenmerk gilt chronischen Belastungen und Substanzen, die sich in der Nahrungskette anreichern oder Erbinformation verändern können, sowie Wirkmechanismen von Stoffgemischen.

### **Globale Veränderungen – neue Probleme**

Auch in diesem Handlungsfeld bringen globale Veränderungen neue Herausforderungen mit sich: Die rasch steigende Anzahl von Chemikalien sowie die wachsende Wirksamkeit vieler Substanzen führen zu einer Zunahme

der Gewässerbelastung aus Siedlung, Verkehr, Landwirtschaft und Industrie. Effekte von steigenden Temperaturen oder erhöhter UV-Strahlung wurden bisher in der Umweltrisikobewertung von Chemikalien nicht berücksichtigt. Und die Erschliessung immer neuer Wasserressourcen macht es nötig, neben den menschenverursachten auch biologische und geologische Problemstoffe in die Arbeiten zu integrieren. Als Beispiel sei die Arsenproblematik im Trinkwasser gewisser Regionen von Bangladesch und Vietnam erwähnt.

Die Eawag-Forschung kombiniert molekularbiologische und genetische Ansätze und setzt auf eine Analytik, die das Verständnis von Wirkmechanismen und Effekten fördert – sowohl bezogen auf einzelne Organismen als auch auf ganze Ökosysteme. Ziel ist es überdies, nicht nur den chemischen Zustand von Wasser und Gewässern sowie Risiken zu beurteilen, sondern auch neue Konzepte zu erarbeiten zum Umgang mit problematischen Chemikalien.

# im sser

## Von Kuba bis in die Antarktis

Neue Analysemethoden erlauben Aussagen über das Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt. Der Bericht ab Seite 41 erläutert, wie die Eawag mit Einzelstoff-Isotopenanalysen zu einem Steckbrief von Grundwasserverunreinigungen gelangt ist. Die Resultate demonstrieren beispielhaft das Potenzial der Methode, insbesondere für die Beurteilung von Altlasten.

Eawag-Forscherinnen und -Forscher zeigen auf, wie das Ausbringen von Gülle den oberflächlichen Abfluss und die Verlagerung von Antibiotika aus der Tiermedizin im Boden beeinflusst (Seite 45). Auch der vorangehende Beitrag dokumentiert das Verhalten eines problematischen Stoffs im Boden – von Antimon (Seite 44). Wie sich Antibiotika aus der Humanmedizin in der Kläranlage verhalten, wird im Artikel auf Seite 48 beschrieben. Keines der untersuchten und üblicherweise heute eingesetzten Reinigungsverfahren vermag dabei diese Substanzen ausreichend aus dem Abwasser zu entfernen.

Mit dem Entsorgungsverhalten der Einwohner von Santiago de Cuba befasst sich der Beitrag auf Seite 46. Er-

staunliches Fazit: Die Karibikstadt mit rund einer halben Million Einwohnern erzielt eine Recyclingrate, die mit schweizerischen Verhältnissen vergleichbar ist. Wesentlich kühler sind da die auf Seite 47 geschilderten Verhältnisse: In Eisbohrkernen aus der Antarktis ist zwar ein von Atomtests stammendes Chlor-Isotop nachweisbar. Doch ein Teil davon ist seit dem Teststopp 1963 aus dem Eisarchiv wieder in die Atmosphäre entwichen.

Als Beispiel für die Möglichkeiten molekularbiologischer Methoden dient der Beitrag zur Abwehrreaktion einer Grünalge gegen Lichtstress (Seite 49). Ein unter Stress aktiviertes Gen und ein zugehöriges Signalmolekül konnten identifiziert werden, womit die Reaktion umgekehrt möglicherweise als Biosensor dienen könnte. Auch der Artikel auf Seite 50 weist auf die Bedeutung genetischer Analysen: Erst wenn bestimmte Gene «eingeschaltet» sind, können Bakterien die für die Biofilmbildung nötigen Klebstoffe produzieren.

Ein sehr praxisorientierter Artikel rundet die Beiträge aus diesem Handlungsfeld ab (Seite 51): Eawag-Mikrobiologen haben ein Verfahren patentieren lassen, das eine rasche Bestimmung der biologischen Stabilität von Trinkwasser erlaubt. Das Marktpotenzial für ein entsprechendes Analysegerät wird als sehr gross eingestuft.



# Steckbrief

## für Verunreinigungen im Grundwasser

**Weil die Isotopenzusammensetzung organischer Schadstoffe und ihrer Abbauprodukte neuerdings in sehr tiefen Konzentrationen bestimmt werden kann, eröffnen sich neue Perspektiven, um belastetes Grundwasser zu beurteilen. Eine Verschiebung des Isotopenmusters im Schadstoff weist unabhängig von dessen Verdünnung im Grundwasser auf Abbau hin.** Christoph Aeppli, Michael Berg

In der Schweiz sind über 40 000 mit Abfällen belastete Deponien, Industrie-, Gewerbe- und Unfallstandorte als Verdachtsflächen registriert. Davon sind voraussichtlich 3000 gemäss der 1998 in Kraft gesetzten Altlastenverordnung des Bundes sanierungsbedürftig. Am häufigsten ist das «Schutzgut» Grundwasser betroffen. Bei der Sanierung von verunreinigtem Grundwasser gewinnen In-situ-Verfahren immer mehr an Bedeutung. Diese Methoden beruhen darauf, die Schadstoffe direkt im Untergrund durch natürlichen oder durch stimulierten Abbau zu eliminieren. Dieser Vorgang geschieht zum Beispiel durch Mikroorganismen oder an Oberflächen von Eisenspänen, welche dem belasteten Erdreich beigemischt wurden. Solche Verfahren sind meist kostengünstiger als Ex-situ-Verfahren wie Aushub und Reinigung des verunreinigten Bodenmaterials.

### Verdünnung oder echter Abbau?

Trotz des Kostenvorteils herrscht in der Praxis jedoch oft Unklarheit über die Wirksamkeit von Sanierungsmassnahmen an Ort. Da häufig eine Erfolgskontrolle fehlt, ist es schwierig, einen schlüssigen Nachweis des Schadstoffabbaus im Grundwasser zu erbringen. So kann eine Abnahme der Schadstoffkonzentration entlang einer Verschmutzungsfahne auch die Folge von Verdünnung im Grundwasserleiter sein (Abb. 1). Hier setzt eine neue Methode zur Altlastenbeurteilung ein: Die Einzelstoffisotopenanalyse (Compound-specific Stable Isotope Analysis, CSIA) beruht auf der Bestimmung von Isotopenverhältnissen. Dabei werden aufschlussreiche Informationen zugänglich, die in den einzelnen Schadstoffmolekülen gespeichert sind. Mit CSIA können Abbau- und Umwandlungsprozesse bei Grundwasserverunreinigungen entkoppelt von Schadstoffkonzentration und Massenbilanz identifiziert und quantifiziert werden.

CSIA wird auch in anderen Bereichen eingesetzt. Bei Dopingtests lassen sich anhand der Isotopenzusammensetzung körperfremde von körpereigenen Wirkstoffen unterscheiden, bei der Fleischqualitätssicherung können die «Bio»-Fütterung der Tiere kontrolliert oder in Labor-

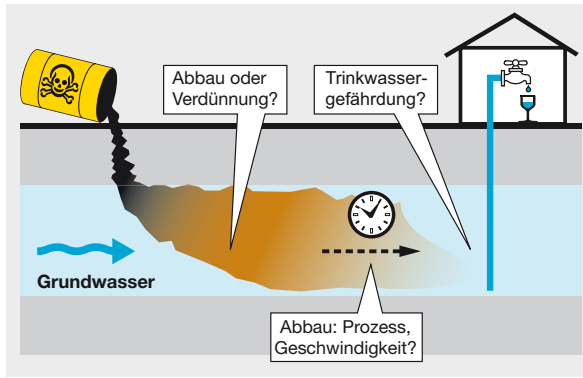


Abb. 1: Anhand der Isotopenverhältnisse in Schadstoffmolekülen kann festgestellt werden, ob diese im Grundwasserleiter abgebaut oder lediglich transportiert und verdünnt werden. Damit lässt sich die Trinkwassergefährdung beurteilen.

versuchen Abbaupfade und Reaktionsmechanismen von organischen Chemikalien identifiziert werden.

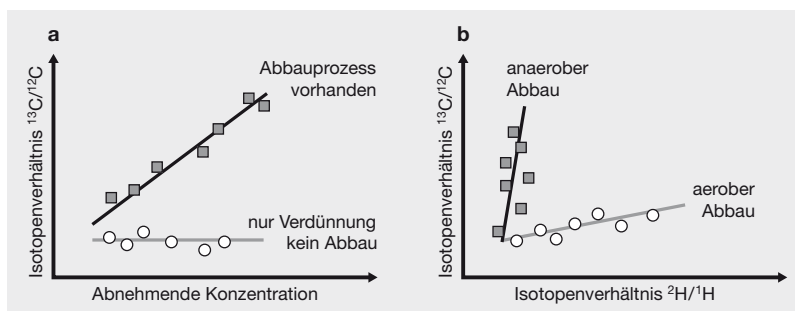
### Schwere und leichtere Isotope

Die meisten Elemente besitzen mehrere stabile Isotope. So ist in der Natur beispielsweise Kohlenstoff mit der Masse 12 und 13 gegenwärtig, wobei der Anteil an  $^{13}\text{C}$  rund 1,1% beträgt. Beide Isotope liegen folglich auch in organischen Molekülen in bestimmten Verhältnissen vor.

Chemische Bindungen mit schweren Isotopen (z. B.  $^{13}\text{C}$  oder  $^2\text{H}$ ) sind geringfügig stabiler als solche mit leichten Isotopen ( $^{12}\text{C}$  oder  $^1\text{H}$ ). Folglich wird bei chemischen und biologischen Abbaureaktionen das Substrat an schweren Isotopen angereichert, während das Reaktionsprodukt isotopisch entsprechend leichter ist. Man kann also im Verlauf einer Reaktion eine Isotopenfraktionierung feststellen, das heißt eine Veränderung der Isotopenverhältnisse. Im Gegensatz

## Was Dopingtests für die internationalen Sportverbände leisten, kann die Isotopenanalyse im Gewässerschutz bieten.

Man kann also im Verlauf einer Reaktion eine Isotopenfraktionierung feststellen, das heißt eine Veränderung der Isotopenverhältnisse. Im Gegensatz



dazu haben physikalische Prozesse wie Sorption, Verdampfung oder Lösevorgänge keine signifikante Isotopenfraktionierung zur Folge.

### Nachweisgrenzen gesenkt

Dank neuen Anreicherungsverfahren konnten die Nachweisgrenzen für die CSI-Analyse deutlich gesenkt werden. Bislang war der Einsatz solcher Isotopenuntersuchungen an organischen Einzelstoffen auf Standorte mit hohen Schadstoffkonzentrationen ( $>200 \mu\text{g/l}$ ) beschränkt, da die Empfindlichkeit der bestehenden Messmethoden sehr gering war. Durch direkte Kopplung einer selektiven Anreicherungs-methode (Purge and Trap) mit einem GC-IRMS (Gas Chromatograph Isotope Ratio Mass Spectrometer) ist es seit kurzem möglich, die Isotopensignaturen von flüchtigen Verbindungen der Elemente C und H in tiefen Konzentrationen mit Nachweisgrenzen um 5 respektive  $50 \mu\text{g/l}$  zu bestimmen [1, 2]. Die Schadstoffe aus einer Grundwasserprobe werden online angereichert, gaschromatographisch aufgetrennt, mit einem Durchflusskatalysator in die Gase  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  oder  $\text{N}_2$  umgesetzt und schliesslich in ein IRMS überführt, welches deren Isotopenverhältnisse misst [3].

Trifft man im Grundwasser mit zunehmender Distanz von der Schadstoffquelle neben einer Verminderung der Konzentration auch auf eine Veränderung der Isotopenzusammensetzung, so findet auf dem Fließweg ein Abbau (respektive eine Transformation) und nicht nur eine Verdünnung des Schadstoffes statt. (Abb. 2a). Das Isotopenverhältnis einer Verbindung in Funktion der Zeit und des Ortes im Grundwasser dient auch als Tracer für den

Abb. 2: Isotopenmessungen von Schadstoffen in kontaminiertem Grundwasser: a) Beim Abbau eines Schadstoffes geht die abnehmende Schadstoffkonzentration mit dessen Anreicherung an schweren Isotopen ( $^{13}\text{C}$ ) einher. b) Das Ausmass der Isotopenfraktionierung gibt gegebenenfalls auch Auskunft über die Art des vorherrschenden Abbaumechanismus. Für einen Schadstoff lässt sich beispielsweise anhand von Isotopensignaturen zwischen aerobem und anaerobem Abbau unterscheiden.

Mechanismus und die Geschwindigkeit des vorherrschenden Abbauprozesses. Durch die Kombination von Isotopenverhältnissen mehrerer Elemente können zusätzliche Informationen zum Abbau – wie beispielsweise der Reaktionsmechanismus – abgeleitet werden (Abb. 2b) [2].

An der Eawag wird mit CSI-Analysen einerseits Grundlagenforschung betrieben, andererseits wird die Analyse zur Identifikation und Quantifikation von Abbauprozessen bei Standorten mit verunreinigtem Grundwasser eingesetzt.

### Hinweise auf den Abbauprozess

Damit aus der Isotopenfraktionierung eines Schadstoffes auf einen Abbauvorgang geschlossen werden kann, wird das isotopische Verhalten dieser Substanz mit Laborexperimenten untersucht. Von Interesse sind umweltrelevante Stoffe wie chlorierte Lösungsmittel, Benzinhaltstoffe, Nitroaromaten und Pestizide.

In einem mit organischen Schadstoffen belasteten Grundwasser ist der Gehalt an gelöstem Sauerstoff oft sehr gering, da dieser beim Schadstoffabbau durch aerob aktive Mikroorganismen gezehrt wird. Deshalb sind anoxische (sauerstofffreie) Abbauprozesse von besonderer Bedeutung. Der Abbau von Tetrachlorkohlenstoff unter anoxischen Bedingungen führt entweder zu unschädlichen Produkten oder zum toxischen Chloroform. In Laborsystemen konnte gezeigt werden, dass die beiden Prozesse unterscheidbare Isotopenfraktionierungen mit sich bringen. In der Praxis können also Isotopenmessungen helfen, den jeweiligen Abbauprozess zu identifizieren [4].

### Anwendungsbeispiele

**Persistenz von MTBE nach Benzinunfall:** Beim Benzinunfall Zürich-Affoltern von 1994 versickerten rund 80 Tonnen Benzin in den Untergrund (Bild Seite 40 unten). Nach Sanierungsmassnahmen wurde die verbleibende Menge des Benzinzusatzstoffes MTBE (Methyl-tert-butylether) auf zwei Tonnen geschätzt. Man hoffte, dass diese Menge mikrobiell abgebaut würde. Neun Jahre nach dem Unfall wurden Isotopenverhältnisse von MTBE im Grundwasserabstrom bestimmt. Sie waren entlang der Schadstofffahne praktisch konstant, was einen signifikanten Abbau ausschliesst. Es ist also damit zu rechnen, dass sich die MTBE-Konzentration nur durch Verdünnung und Transport im Grundwasser oder Ausgasung in die Atmosphäre vermindern wird [5].

**Abbaumechanismen in einer Deponie:** In einem Gebiet mit komplexen Grundwasserfliessrichtungen und mehreren Schadstoffpunktquellen konnte dank Isotopeninformationen der Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff erfolgreich anaerober MTBE-Abbau nachgewiesen werden. Darüber hinaus lieferten die Isotopenfraktionierungsgrade

Hinweise auf den Reaktionsmechanismus, der dem Abbau zugrunde liegt [4].

**Erfolgskontrolle von Sanierungsmassnahmen:** An einem Industriestandort wurden bis in die 60er-Jahre grosse Mengen an giftigem Perchlorethen (PER) als Entfettungsmittel eingesetzt. Vor einigen Jahren stellte man fest, dass das örtliche Grundwasser hohe PER-Gehalte aufweist und somit die nahe gelegene Trinkwasserfassung bedroht ist. Isotopenmessungen wiesen nicht auf PER-Abbau hin. Es besteht also keine Gefahr, dass das deutlich giftigere Vinylchlorid, welches oft das Endprodukt beim PER-Abbau ist, auftritt. Um die primäre Verunreinigung zu eliminieren, sind jedoch Sanierungsmassnahmen notwendig.

**Suche nach den Quellen von PER und TRI:** Im Sickerwasser einer ehemaligen Mülldeponie wurden hohe Konzentrationen an PER und dem potenziellen Abbauprodukt Trichlorethen (TRI) gefunden. Entgegen bisheriger Annahmen zeigten die Isotopensignaturen, dass TRI nicht aus dem Abbau von PER, sondern aus einer noch nicht identifizierten Quelle stammen muss.

Diese Beispiele demonstrieren das Potenzial der CSI-Analyse für die Abschätzung des Abbaus an Ort beziehungsweise der Persistenz von Schadstoffen in der Umwelt. Die Einzelstoffisotopenanalytik dürfte daher in Zukunft eine wichtige Stellung bei der Altlastenbeurteilung einnehmen. ○ ○ ○

- [1] Zwank L., Berg M., Schmidt T.C., Haderlein S. B. (2003): Compound-specific carbon isotope analysis of volatile organic compounds in the low-microgram per liter range. *Analytical Chemistry* 75 (20), 5575–5583.
- [2] Zwank L., Berg M., Elsner M., Schmidt T.C., Schwarzenbach R. P., Haderlein S. B. (2005): New Evaluation Scheme for Two-Dimensional Isotope Analysis to Decipher Biodegradation Processes: Application to Groundwater Contamination by MTBE. *Environmental Science and Technology* 39 (4), 1018–1029.
- [3] Schmidt T.C., Zwank L., Elsner M., Berg M., Meckenstock R. U., Haderlein S. B. (2002): Compound-specific stable isotope analysis of organic contaminants in natural environments: a critical review of the state of the art, prospects, and future challenges. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 378 (2), 283–300.
- [4] Elsner M., Haderlein S. B., Kellerhals T., Luzi S., Zwank L., Angst W., Schwarzenbach R. P. (2004): Mechanisms and products of surface-mediated reductive dehalogenation of carbon tetrachloride by Fe(II) on goethite. *Environmental Science and Technology*, 38 (7), 2058–2066.
- [5] Berg M., Zwank L., Bolotin J., Aeppli C., Häner A., Möller M., Munz C., Ziegler U. (2005): Einzelstoffisotopenanalyse zur Beurteilung von Methyl-tert-butylether (MTBE) an einem Altlastenstandort. *Altlasten Spektrum* 14 (1), 20–26.

# Mosaikstein im Bild eines Schwermetalls

**Antimon ist ein giftiges Schwermetall, dessen Umweltverhalten weitgehend unbekannt ist. Wir haben untersucht, wie stark Antimon(III) in wässriger Lösung an Huminsäuren bindet und wovon die Wechselwirkungen abhängig sind. Das Resultat: Unter umweltrelevanten Bedingungen wird ein beträchtlicher Teil an organisches Material gebunden.** Johanna Buschmann, Laura Sigg

## Die Bindung von Antimon an Huminsäuren verändert die Bioverfügbarkeit dieses giftigen Elements.

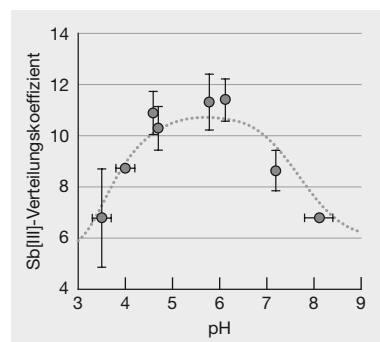
Antimon (Sb) ist ein Metall, das in Flammschutzmitteln, in Batterien und in der Munition Verwendung findet. Gelangt es in die Umwelt, wie dies zum Beispiel im Kugelfang von Schiessanlagen der Fall ist, kann Antimon durch Auswaschung aus kontaminierten Böden auch in Gewässer gelangen. Dabei wird Sb oxidiert und liegt dann in den für die Umwelt typischen Spezies mit den Oxidationsstufen +III (neutraler Hydroxokomplex) und +V (negativ geladener Hydroxokomplex) vor.

### Mit Arsen vergleichbar

Antimon ist in seiner Giftigkeit mit Arsen vergleichbar. Seine Toxizität in aquatischen Systemen muss noch untersucht werden. Auch über das Umweltverhalten von Sb ist bis jetzt noch wenig bekannt, insbesondere über die Wechselwirkungen von Sb

mit Huminsäuren in wässriger Lösung [1]. Huminsäuren stellen einen wichtigen Bestandteil des gelösten organischen Materials in Gewässern dar.

In unserer Studie haben wir die Bindung von Sb(III) an drei verschiedenen, kommerziell erhältlichen Huminsäuren in einer wässrigen Lösung untersucht. Es zeigte sich, dass Sb(III) bei pH-Werten um 6 besonders gut an Huminsäuren bindet, während bei höherem und tieferem pH-Wert die Bindungsaffinität geringer ist [2] (siehe Abbildung). Zudem hat das Verhältnis von Sb(III) zu Huminsäure einen Einfluss auf die Verteilung: Je mehr Sb(III) pro Huminsäure in der Lösung vorhanden ist, desto weniger stark wird Sb(III) an die Huminsäure gebunden. Mit einem einfachen Modell konnten wir dieses chemische Verhalten nachbilden. Das Modell basiert auf der Annahme, dass Sb(III) einerseits mit phenolischen Gruppen der Huminsäure einen neutralen Komplex bildet und andererseits mit Carboxylgruppen einen negativ geladenen Komplex.



Konditionelle Verteilungskoeffizienten Sb(III) an Huminsäure gebunden zu Sb(III) in Lösung als Funktion des pH-Wertes. Die gepunktete Linie zeigt die mit einem einfachen Modell gerechneten Verteilungskoeffizienten. Die Huminsäure wurde aus dem Suwannee River (Florida/USA) isoliert.

### Zu über 30% gebunden

Aufgrund dieser Studie kann vorausgesagt werden, dass unter umweltrelevanten Bedingungen (pH-Wert = 7 und circa 5 mg/l gelöster organischer Kohlenstoff) mindestens 30% des gesamten gelösten Sb(III) an Huminsäuren gebunden ist. Dies beeinflusst die Bioverfügbarkeit von Sb(III) wie auch seine Mobilität. Die Resultate leisten einen Beitrag zur Risikoabschätzung von Antimon in der Umwelt und stellen einen weiteren Mosaikstein im Gesamtbild des Umweltverhaltens dieses Schwermetalls dar. ○ ○ ○



Huminsäure wird in einen Membranschlauch gefüllt (oben). Antimon aus den Proben auf den Magnetrührern (unten) kann durch die Membran einwandern und an die Huminsäure binden.

- [1] Pilarski J., Waller P., Pickering W. (1995): Water Air Soil Poll. 84, 51–59.  
[2] Buschmann J., Sigg L. (2004): Environmental Science and Technology 38, 4535–4541.

# Gülle beeinflusst die Antibiotikaverlagerung

**Noch ist wenig über das Umweltverhalten von Antibiotika aus der Tierhaltung bekannt. Im Rahmen von Beregnungsversuchen auf Grünland wurden ein oberflächlicher Austrag und eine Verlagerung in den Boden hinein beobachtet. Die Konzentrationen waren sowohl zeitweilig im Oberflächenabfluss als auch punktuell im Porenwasser des Bodens hoch.** Michael Burkhardt, Christian Stamm, Heinz Singer, Stephan Müller

Zur Behandlung von Tieren ist eine breite Palette von Antibiotika zugelassen. Einige davon werden fast unverändert ausgeschieden, gelangen in die Gülle und damit auf Wiesen und Felder. Deshalb wird befürchtet, dass die ausgeschiedenen Veterinärantibiotika mit dem Regen oberflächlich abfließen sowie im Boden verlagert werden können. Schlimmstenfalls werden Antibiotika in den Gewässern oder dem Trinkwasser wiedergefunden.

## Mit Gülle und mit Wasser ausgebracht

In einer Studie, gefördert durch das Nationalfondsprojekt 49 «Antibiotikaresistenz», wurde auf Grünlandflächen (je 2 m<sup>2</sup>) der Einfluss von Gülle auf den Austrag von Sulfonamid-Antibiotika untersucht. Die Sulfonamide gelten auf Grund ihrer grossen Einsatzmengen in der Schweinehaltung und physikalisch-chemischen Eigenschaften als potenzielle Problemsubstanzen für die Umwelt. Die eingesetzte Schweinegülle enthielt Sulfadimidin und wurde vor dem Ausbringen mit zwei weiteren Sulfonamiden (Sulfadiazin, Sulfathiazol) ver-

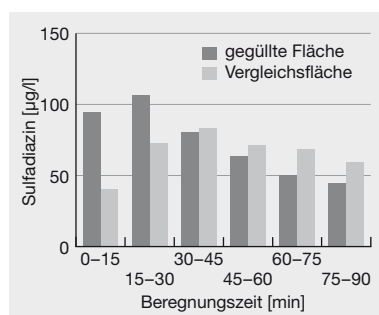


Abb. 1: Anteil des via Oberflächenabfluss ausgetragenen Sulfadiazins auf gegüllten Flächen und Vergleichsflächen während der Beregnung mit einer Intensität von 20 mm/h einen Tag nach Ausbringen der Gülle.

setzt. Als Vergleich wurden die zugesetzten Stoffe auch in Wasser statt in Gülle ausgebracht. Ein Tag danach wurden während der Beregnung der oberflächliche Abfluss gemessen und in Bodenproben mit empfindlicher Analytik die Konzentrationen im Porenwasser analysiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass auf gegüllten Flächen der Abfluss und zu Beregnungsbeginn die Sulfonamid-Konzentrationen (Abb. 1) deutlich höher waren als auf den Vergleichsflächen. Der Abflussunterschied lässt sich mit einer Verschlammung der Bodenoberfläche durch die Feststoffe der Gülle, die höheren Sulfonamid-Konzentrationen mit dem fehlenden Kontakt zum Boden und basischen pH-Wert erklären. Gleichzeitig dominierte auf den Vergleichsflächen mit zunehmender Beregnungsdauer die Desorption vom Boden. Auf gegüllten Flächen war die Fracht im Vergleich zur nicht gegüllten fünf- bis zehnmal höher. Dennoch erreichte die Fracht auf gegüllten Flächen nur 0,2–0,5% der ausgebrachten Sulfonamidmenge.

## Verlagerung im Boden

Im Boden zeigte sich eine deutliche Konzentrationsabnahme mit der Tiefe (Abb. 2). An der Bodenoberfläche wurden in jeder Probe Sulfonamide gefunden (vereinzelt bis 130 µg/l), in 30–50 cm Tiefe jedoch nur noch punktuell.

Die Masse der Sulfonamide verblieb in der obersten Bodenschicht (in 0–10 cm Tiefe 80–95%). An der Bodenoberfläche lag die mittlere Konzentration auf gegüllten Flächen höher als auf den Vergleichsflächen, da die festen Bestandteile der Gülle zu einer inhomogenen Anfangsverteilung führten.

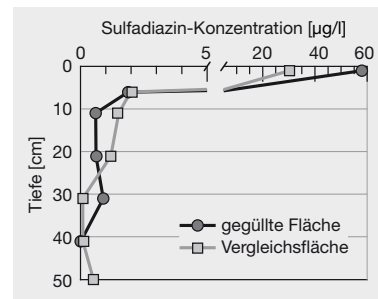


Abb. 2: Profil der Sulfadiazin-Konzentration im Porenwasser auf gegüllten Flächen und Vergleichsflächen nach 90 Minuten Beregnungsdauer.

Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass Gülle den Abfluss und die Mobilität von Sulfonamid-Antibiotika begünstigt, aber nur geringe Mengen oberflächlich abgeschwemmt werden. Ebenfalls wird deutlich, dass Antibiotika im Boden verlagert werden können. Nun müssen die Effekte der gefundenen Sulfonamidkonzentrationen auf die Boden- und Gewässerorganismen untersucht werden. Insbesondere muss geklärt werden, ob sie die Bildung von Antibiotikaresistenzen fördern.

○ ○ ○

Burkhardt M., Stoob K., Stamm C., Singer H., Müller S. (2004): Veterinary antibiotics in animal slurries – a new environmental issue in grassland research. Grassland Science in Europe 9: 322–324.

Burkhardt M., Stamm C., Waul C., Singer H., Müller S. (2005): Surface Runoff and Transport of Sulfonamide Antibiotics and Tracers on Manured Grassland. Journal of Environmental Quality (submitted).

# Kubaner leben umweltbewusst

**Materialflussanalysen von 1200 Haushalten in Santiago de Cuba zeigen, dass eine sehr hohe Recyclingrate erreicht wird. Dies ist auf ein hohes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung und auf den sozialen Druck einer politischen Quartierorganisation zurückzuführen.** Hans-Joachim Mosler, Robert Tobias

Santiago de Cuba hat wie andere Städte in Entwicklungsländern das Problem der Entsorgung seiner Siedlungsabfälle. Werden die Abfälle unkontrolliert und unbehandelt in Deponien gelagert, so können schwer wiegende Umweltprobleme und auch Bedrohungen für die Gesundheit von Mensch und Tier entstehen [1]. In einem Projekt, das die Eawag in Zusammenarbeit mit der Universidad de Oriente und lokalen Organisationen durchführt, wird abgeklärt, wie über eine Verhaltensänderung die in den Haushalten erzeugte Menge an festem Abfall reduziert werden kann. In einer ersten Phase wurde bei über 1200 Haushalten eine repräsentative Befragung durchgeführt. Bei diesen Haushalten wurde auch das Abfallaufkommen, getrennt nach den Anteilen an Glas, organischen Abfällen, Papier/Karton, Aluminium, Eisen und Plastik, gewogen. So konnten Materialflussanalysen durchgeführt werden, aus denen hervorgeht, wie die

Haushalte die verschiedenen Abfallarten entsorgen [2].

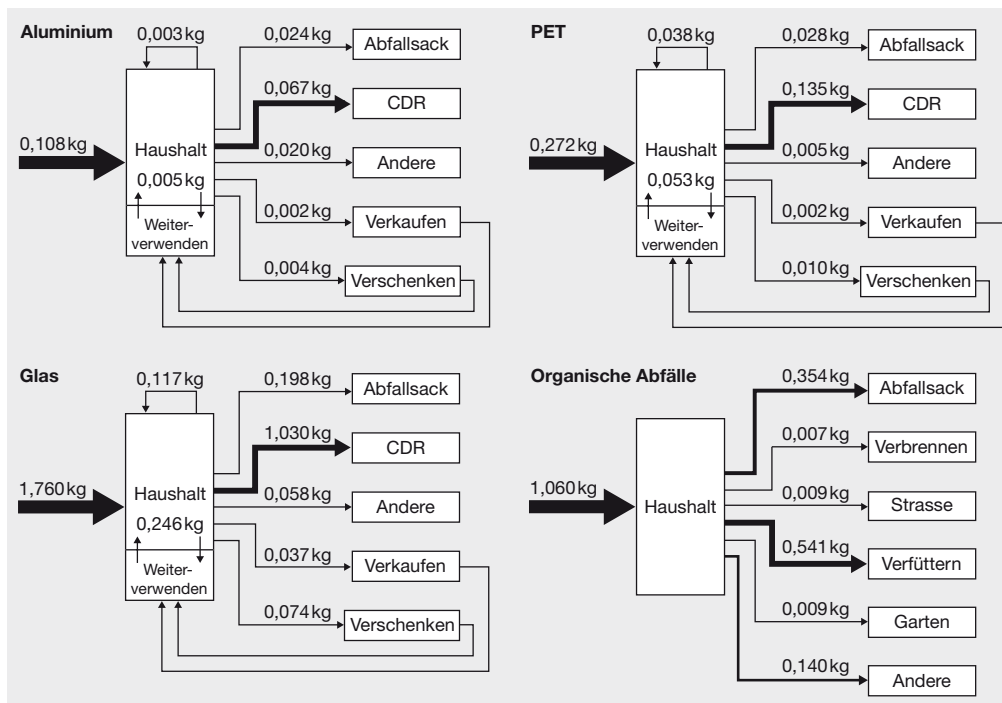
Die Haushalte gehen auf verschiedene Arten mit ihren Abfällen um:

- ▶ weiterverwenden, z.B. eine Rumflasche für die Aufbewahrung von anderen Flüssigkeiten,
- ▶ in die Abfuhr geben,
- ▶ dem CDR (Comité del la Defensa de la Revolución) abgeben, das ist eine quartierbezogene politische Organisation, die periodisch die Wertstoffe einsammelt,
- ▶ auf andere Arten entsorgen, wie verbrennen, auf eine wilde Deponie werfen etc.,
- ▶ bei einer «Casa de Compra» verkaufen, für 20 leere 1,5-l-Pet-Flaschen erhält man eine volle Flasche,
- ▶ an andere Haushalte verschenken,
- ▶ organischen Abfall im Garten entsorgen oder Tieren verfüttern.

Aus den Materialflussanalysen erkennt man, dass ein sehr grosser Anteil des Abfalls an Pet, Glas und Aluminium dem CDR übergeben wird

und somit der Recyclingindustrie zugeführt wird. Diesen Umstand muss man einerseits dem stark verbreiteten Abfall- und Umweltbewusstsein der Kubaner zuschreiben: Über 80 % der Befragten halten eine umweltschonende Entsorgung der Abfälle für sehr wichtig. Andererseits geht vom CDR ein starker sozialer Druck aus, weil diese Organisation sich in vielen Bereichen des Alltags einsetzt. Bei der Entsorgung von organischem Abfall wird ein grosser Teil an Tiere verfüttert. Über 30 % der Haushalte – auch in der Stadt – halten Schweine und Hühner, an deren Fütterung sich oft mehrere Haushalte beteiligen [3]. So resultiert eine Recyclingrate, die zum Beispiel für Glas mit 68 % in einer Grössenordnung liegt, wie sie nur von wenigen Ländern auf der Welt wie Deutschland mit 83 % und der Schweiz mit 92 % bekannt ist (für Entwicklungsländer gibt es keine Daten hierzu). In der nächsten Projektphase werden Massnahmen eingeführt und getestet [4], die über eine Stärkung bereits bestehender Strukturen zu einer Verminderung von organischem und wiederverwertbarem Abfall bei den Haushalten führen sollen. ○ ○ ○

Die Entsorgung verschiedener Verpackungsmaterialien und organischer Abfälle in Santiago de Cuba. Mengen pro Person und Monat.



[1] Schertenleib R., Meyer W. (1992): Municipal Solid Waste Management in DC's: Problems and Issues; Need for Future Research, IRCWD News (26).

[2] Binder C., Mosler H.-J.: Waste – resource flows of short-lived goods in Santiago de Cuba: Social norm as a main driver of recycling paths. Eingereicht bei Resources, Conservation and Recycling.

[3] Mosler H.-J. et al.: Formulating Waste Management Strategies Based on Waste Management Practices of Households in Santiago de Cuba. Eingereicht bei Habitat International.

[4] Mosler H.-J., Gutscher H. (1998): Umweltpsychologische Interventionsformen für die Praxis. Umweltpsychologie, 2, 64–79.

# Cl-36-Datierung schwieriger als angenommen

**Das Chlor-Isotop  $^{36}\text{Cl}$  eignet sich ausgezeichnet als Tracer für Grundwasser und könnte auch zum Datieren von Eis eingesetzt werden. Allerdings traten immer wieder unerklärliche Schwankungen der  $^{36}\text{Cl}$ -Konzentrationen im Eis auf. Detaillierte Messungen in einem Schacht in der Antarktis zeigen nun, dass ein Teil des  $^{36}\text{Cl}$  aus dem Firn zurück in die Atmosphäre gelangt.** Jürg Beer

Das Chlor-Isotop  $^{36}\text{Cl}$  (Halbwertszeit: 301 000 Jahre) hat zwei wesentliche Quellen: In der Atmosphäre wird es kontinuierlich durch die Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit Argon gebildet und gelangt innerhalb von 1–2 Jahren auf die Erdoberfläche. Durch menschliche Aktivitäten wird es künstlich erzeugt. Dabei steht der Neutroneneinfang von  $^{35}\text{Cl}$  im Vordergrund. Dieser Prozess war dafür verantwortlich, dass zwischen 1950 und 1960 die Konzentration von  $^{36}\text{Cl}$  in der Atmosphäre um fast drei Grössenordnungen anstieg [1]. Die Ursache dafür waren die atmosphärischen Atombombentests, die vor der Inkraftsetzung des Testverbots 1963 ihren Höhepunkt erreichten. Da es aber ausser Neutronen auch Cl braucht, das vor allem im Meer zu finden ist, waren für die  $^{36}\text{Cl}$ -Produktion die frühen Bombentests besonders wichtig, da diese zum Teil auf Schiffen und auf Atollen stattfanden. Nach 1960 verlegte man die Tests ins Landesinnere. Das führte dazu, dass die  $^{36}\text{Cl}$ -Konzentration in der Atmosphäre bereits um 1958 ihr Maximum erreichte und nicht erst um 1963 wie bei  $^{137}\text{Cs}$ , das als Spaltprodukt vor

allem kurz vor dem Teststopp in grossen Mengen in die Atmosphäre gelangt ist.

## Grundkonzentration stört

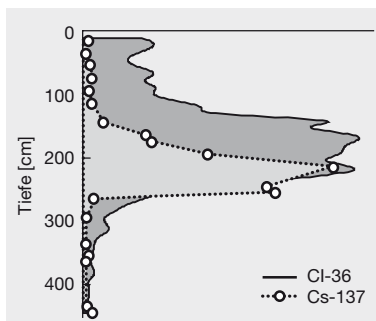
Der  $^{36}\text{Cl}$ -Bombenpuls weist trotz seiner unerfreulichen Herkunft auch positive Aspekte auf. So stellt er eine Zeitmarke dar, die etwa im Firn zum Datieren verwendet werden kann. Wichtiger ist aber, dass das gut lösliche  $^{36}\text{Cl}$  mit dem Regen ins Grundwasser gelangt und ein ausgezeichnete Tracer ist, mit dem sich das Verhalten des Wassers über die letzten 50 Jahre untersuchen lässt. Als weniger geeignet erwiesen hat sich  $^{36}\text{Cl}$  zum Datieren von Grundwasser und Eis im Bereich von 100 000 bis 1 Mio. Jahren. Im Grundwasser führt in-situ produziertes  $^{36}\text{Cl}$  in den meisten Fällen zu einem Grundvorkommen, das ein genaues Datieren unmöglich macht. Für die Eisdatierung wollte man sich die Tatsache zunutze machen, dass  $^{10}\text{Be}$  und  $^{36}\text{Cl}$  beide durch ähnliche Prozesse produziert werden und deshalb auch bei einer sich ändernden Produktion immer das gleiche Anfangsverhältnis aufweisen. Dieses konstante Anfangsverhältnis ändert sich dann mit einer Halbwertszeit von 370 000 Jahren.

## Kein dichter Tresor

Nun haben aber Messungen an jungem Eis (jünger als 50 000 Jahre) von verschiedenen Eisbohrkernen aus der Antarktis grosse Schwankungen dieses Anfangsverhältnisses gezeigt, die man sich nicht erklären konnte. Damit wurden Hoffnungen auf eine neue Datierungsmethode begraben. Mit der Zeit stellte sich dann heraus, dass Eis und Firn kein perfektes Archiv für Halogenide und damit auch für  $^{36}\text{Cl}$  darstellen [2]. Messungen

zeigten, dass Halogenide in Eis mit kleiner Akkumulationsrate und relativ tiefem pH (wenig Staub) tendenziell geringere Konzentrationen aufweisen. Das weist darauf hin, dass diese zum Teil als Gase (z. B.  $\text{H}^{36}\text{Cl}$ ) aus dem luftdurchlässigen Firn in die Atmosphäre zurück gelangen können. Dieser Effekt zeigt sich deutlich an  $^{36}\text{Cl}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ -Messungen an Firnproben aus einem Schacht bei der Station Vostok [3]. Der  $^{36}\text{Cl}$ -Bombenpuls liegt nicht wie erwartet unterhalb des  $^{137}\text{Cs}$ -Pulses, sondern darüber und ist deutlich verbreitert (Abbildung). Modellrechnungen bestätigen, dass diese Beobachtungen mit einer Diffusion von  $\text{H}^{36}\text{Cl}$  in Richtung Oberfläche erklärt werden können. Diese Resultate lassen hoffen, dass unter günstigen Bedingungen (grosse Akkumulationsrate, hoher pH) Datierungen mit  $^{36}\text{Cl}$  und  $^{10}\text{Be}$  doch möglich sein sollten. ○ ○ ○

**Halogenide gelangen als Gase aus dem luftdurchlässigen Firn in die Atmosphäre zurück.**



Als Folge der Gasdiffusion in Richtung Oberfläche hat sich der  $^{36}\text{Cl}$ -Bombenpuls von der unteren auf die obere Seite des  $^{137}\text{Cs}$ -Pulses verschoben und sich dabei stark verbreitert.

- [1] Elmore D., Tubbs L. E., Newman D., Ma X. Z., Finkel R., Nishiizumi K., Beer J., Oeschger H., Andrée M. (1982): The  $^{36}\text{Cl}$  Bomb Pulse Measured in a Shallow Ice Core from Dye 3, Greenland. *Nature* 300, 735–737.
- [2] Wagnon P., Delmas R. J., Legrand M. (1999): Loss of volatile acid species from upper firn layers at Vostok. *Antarctica. J. Geophys. Res.* 104 (D3), 3423–3431.
- [3] Delmas R. J., Beer J., Synal H.-A. et al. (2004): Bomb-test  $^{36}\text{Cl}$  measurements in Vostok snow (Antarctica) and the use of  $^{36}\text{Cl}$  as a dating tool for deep ice cores. *Tellus* 56B, 492–498.

# Antibiotika in der Abwasserreinigung

**Antibiotika werden in der Humanmedizin weltweit in grossen Mengen eingesetzt. Sie gelangen nach der Ausscheidung oft kaum verändert ins Abwasser und von dort – nach einer unvollständigen Elimination in der Kläranlage – in die aquatische Umwelt, wo sie möglicherweise die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen fördern.**

Anke Göbel, Angela Thomsen, Christa S. McArdell, Adriano Joss, Hansruedi Siegrist, Walter Giger

Der jährliche Antibiotikaverbrauch in der Schweiz beträgt über 30 Tonnen. In Feldstudien haben wir das Schicksal von zwei bedeutenden antimikrobiellen Wirkstoffgruppen aus der Humanmedizin in der Abwasserreinigung untersucht – Makrolide und Sulfonamide. Umwandlung und die Bindung an Schlamm stellen dabei die wichtigsten Eliminationsprozesse für die analysierten Antibiotika dar. Für die quantitative Bestimmung dieser Spurenstoffe im Abwasser verschiedener Reinigungsstufen und im Klärschlamm wurden Festphasenextraktion und beschleunigte Lösemittelextraktion sowie Flüssigchromatographie gekoppelt mit Tandemmassenspektrometrie verwendet.

## Verfahrensabhängige Elimination

Alle vier getesteten Makrolide konnten in Abwasser- und Klärschlammproben gemessen werden, mit Clarithromycin als mengenmässig wichtigster Substanz. Sulfapyridin und Sulfamethoxazol wurden als Hauptvertreter der Sulfonamid-Wirkstoffklasse im Abwasser gefunden.

Weiterhin war Trimethoprim vorhanden, das überwiegend in Verbindung mit Sulfonamiden eingesetzt wird. Die gemessenen Frachten korrelieren gut mit den aus Verbrauchs- und Einwohnerzahlen sowie Ausscheidungsraten berechneten Frachten.

Im Fall von Sulfamethoxazol erwies es sich als äusserst wichtig, den menschlichen Hauptmetaboliten *N*<sup>4</sup>-Acetylsulfamethoxazol mitzuerfassen, da dieser in grossen Mengen im Zulauf von Kläranlagen vorkommt und eine Rückspaltung in den Aus-

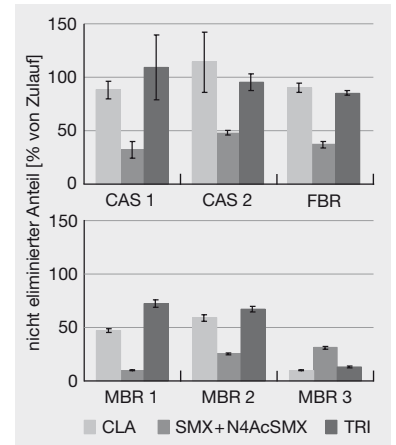
gangswirkstoff während der Abwasserreinigung wahrscheinlich ist.

Mit Massenbilanzen wurde die Elimination der untersuchten Substanzen in Kläranlagen mit Belebtschlammverfahren und Festbettreaktor sowie in einem Membranbioreaktor bei drei verschiedenen Schlammaltern untersucht (Abbildung). In allen Fällen spielte die Sorption an Überschusschlamm keine bedeutende Rolle (<10%). Eine vergleichbare Elimination der Wirkstoffe wurde in den Belebtschlammverfahren und im Festbettreaktor beobachtet. Für die Gesamtmenge an Sulfamethoxazol lag diese bei rund 60%, während Trimethoprim und Clarithromycin keine signifikante Elimination aufwiesen. Für die anderen Makrolide wurden grössere Schwankungen bezüglich Elimination in den Messkampagnen ermittelt, mit Höchstwerten von 55% im Belebtschlammverfahren.

Besser ist die Elimination im Membranbioreaktor. Hier konnte in einigen Fällen eine Abhängigkeit der Elimination vom Schlammalter festgestellt werden. Während für Sulfamethoxazol bei allen drei Schlammaltern eine Elimination von rund 75% ermittelt wurde, stieg diese für Trimethoprim, Clarithromycin und Dehydro-Erythromycin von 25–50% bei Schlammaltern von 16 und 33 Tagen auf bis zu 90% bei einem Schlammalter von 60 bis 80 Tagen.

## Ozonung ist wirksam

Insgesamt konnten alle Systeme die Antibiotikasubstanzen nur teilweise eliminieren. Diese gelangen also kontinuierlich in die Umwelt. Weitere Studien, insbesondere in der Ökotoxikologie, sind nötig, um das Risiko der Restkonzentrationen abschätzen zu können. Als wirksame Massnahme, um die verbleibende Antibiotika-



Elimination für Clarithromycin (CLA), Sulfamethoxazol inklusive der Menge, die als *N*<sup>4</sup>-Acetylsulfamethoxazole vorliegt (SMX+N4AcSMX) und Trimethoprim (TRI). CAS = Belebtschlammverfahren (1, 2: Schlammalter 21–25 und 10–12 Tage); FBR = Festbettreaktor; MBR = Membranbioreaktor (1, 2, 3: Schlammalter 16, 33 und 60–80 Tage). Die Werte über 100% sind u. a. mit der komplexen Erfassung des Zulaufs zu erklären.

konzentration im Abwasser zu reduzieren, hat sich die Ozonung erwiesen. Mit einer Ozondosis von 2 mg/l wurde in Pilotversuchen für alle studierten Antibiotika eine Elimination von über 90% erzielt. ○ ○ ○

**Alle untersuchten Systeme konnten die Antibiotikasubstanzen nur teilweise eliminieren.**

- Göbel A. (2004): Occurrence and Fate of Macrolide and Sulfonamide Antimicrobials in Wastewater Treatment. Dissertation ETH Zürich, Nr. 15 703.
- Göbel A., Thomsen A., McArdell C. S., Joss A., Giger W.: Occurrence and sorption behavior of sulfonamides, macrolides, and trimethoprim in activated sludge treatment. Environ. Sci. Technol. 2005, in press.
- Huber M. M., Göbel A., Joss A., Hermann N., Löffler D., McArdell C. S., Ried A., Siegrist H., Ternes T. A., von Gunten U.: Oxidation of pharmaceuticals during ozonation of municipal wastewater effluents: a pilot study. Environ. Sci. Technol. 2005, in press.

# Genetische Abwehrreaktion einer Alge

**Hohe Lichtintensitäten und Herbizide können die Photosynthese in Algen und Pflanzen schädigen und Stress bewirken. Der Organismus reagiert darauf mit spezifischen Abwehrmechanismen, von denen einige noch kaum erforscht sind. Das in der Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* durch photooxidativen Stress eingeschaltete Gen *Gpxh* kann helfen, neuen Mechanismen auf die Spur zu kommen und sie als Biosensoren einzusetzen.** Beat B. Fischer, Rik I. L. Eggen

Die Einwirkung von starkem Licht und verschiedenen Herbiziden verursacht in Pflanzen und Algen oft eine Verminderung der normalen Photosyntheseaktivität und als Folge die erhöhte Produktion von Sauerstoffspezies wie Wasserstoffperoxid, Superoxid, Hydroxylradikale und Singulett-Sauerstoff ( $^1\text{O}_2$ ). Diese reaktiven Stoffe richten in der Zelle grossen Schaden an und führen zu einem photooxidativen Stress. Als Schutz haben sich in der Zelle mehrere Abwehrstrategien entwickelt, deren

genaue Funktionsmechanismen aber noch kaum bekannt sind.

## Abwehrgen eingeschaltet

Die meisten dieser Schutzmechanismen werden durch gezielte Einschaltung (Induktion) von Abwehrgenen aktiviert. Induktionsmuster und -stärke von unbekanntenen Genen können daher helfen, einem neuen Mechanismus auf die Spur zu kommen. Darum haben wir die genetische Antwort der Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* auf Chemikalien untersucht, die einen künstlichen photooxidativen Stress bewirken. Mit Hilfe von DNA-Chips wurde zuerst das gesamte genetische Expressionsmuster in Zellen bei verschiedenen Arten von photooxidativem Stress aufgenommen. Dabei ergaben sich völlig unterschiedliche Expressionsprofile [1]. Neutralrot, das durch direkten Elektronentransfer mit einem Substrat reagiert (Type I), induzierte die Expression einer Vielzahl von generellen und oxidativen Abwehrgenen. Bengalrosa, ein Produzent von  $^1\text{O}_2$  (Type II), bewirkte eine wesentlich spezifischere Antwort, mit der starken Einschaltung von nur einem Gen. Dieses Gen, das Glutathione Peroxidase homologe Gen *Gpxh*, wurde viel stärker und spezifischer durch photooxidativen Stress induziert als durch jeden anderen generellen oder oxidativen Stress (Abb. 1).

## Signalmolekül identifiziert

Um dem Mechanismus dieser spezifischen Induktion auf die Spur zu kommen, wurde unter anderem nach dem Signalmolekül geforscht, das zur *Gpxh*-Einschaltung führt. Durch Induktionsexperimente in Wachstumsmedien, die Deuteriumoxid enthalten, konnte  $^1\text{O}_2$  als Signalmolekül identifiziert werden, da Deuterium-

oxid spezifisch die Wirkung von  $^1\text{O}_2$  in wässriger Lösung verstärkt (Abb. 2) [2]. Weiter wurde getestet, ob das *Gpxh*-Gen auch bei natürlichen Stresssituationen, die zu erhöhter  $^1\text{O}_2$ -Bildung führen, eingeschaltet wird. Dazu wurden *Chlamydomonas*-Kulturen starkem Licht und verschiedenen Herbiziden, die die Entstehung von  $^1\text{O}_2$  beeinflussen, ausgesetzt und die *Gpxh*-Induktion analysiert [3]. Die gemessenen Werte korrelierten gut mit der erwarteten Bildung von  $^1\text{O}_2$ , was die Funktion von  $^1\text{O}_2$  als Signalmolekül bestätigte. ○ ○ ○

**Sind die Faktoren bekannt, liess sich die genetische Abwehrreaktion auch als Biosensor einsetzen.**

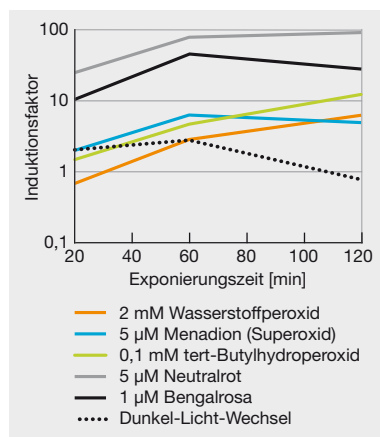


Abb. 1: Induktionsprofile von *Gpxh* durch verschiedene oxidative und photooxidative Stressbedingungen.

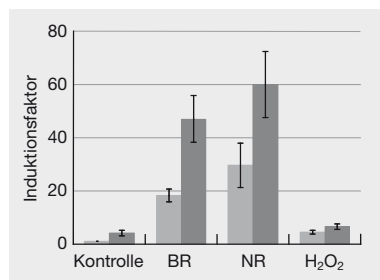


Abb. 2: Effekt von 50% Deuteriumoxid (dunkle Balken) auf die Induktion von *Gpxh* in normalem Medium (helle Balken) durch Bengalrosa (BR), Neutralrot (NR) oder Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

[1] Fischer B. B., Krieger-Liszka A., Eggen R. I. L. (2005): Oxidative stress induced by the photosensitizers neutral red (type I) or rose bengal (type II) in the light causes different genetic responses in *Chlamydomonas reinhardtii*, Plant Science, 168 (3): 747–759.

[2] Fischer B. B., Krieger-Liszka A., Eggen R. I. L. (2004): Photosensitizers neutral red (type I) and rose bengal (type II) cause light-dependent toxicity in *Chlamydomonas reinhardtii* and induce the *Gpxh* gene via increased singlet oxygen formation, Environ. Sci. Technol. 38: 6307–6313.

[3] Fischer B. B., Eggen R. I. L., Trebst A., Krieger-Liszka A. (2005): The glutathione peroxidase homologous gene *Gpxh* in *Chlamydomonas reinhardtii* is upregulated by singlet oxygen produced in photosystem II upon photo-inhibition, submitted.

# Der Biofilmbildung auf der Spur

**Moderne molekularbiologische Methoden erlauben die Identifizierung von Klebstoffen, die es dem Darmbakterium *Escherichia coli* ermöglicht, Biofilme auszubilden. Es ist gut möglich, dass die Ausbildung eines Biofilms den Bakterien das Überleben unter harschen Umweltbedingungen sichert.**

Eva Brombacher, Teresa Colangelo, Paolo Landini

Biofilme sind Zellaggregate verschiedener Populationen von Mikroorganismen, eingebettet in einer aus Polysacchariden und Proteinen bestehenden schleimigen Matrix. Solche Biofilme können sich an praktisch allen Oberflächen bilden, welche mit Flüssigkeiten in Kontakt kommen. Dies kann sowohl gesundheitlich wie auch ökonomisch sehr problematisch sein, zum Beispiel wenn solche Zellaggregate in medizinischen Kathetern, in industriellen Leitungen oder in Trinkwassersystemen wachsen. Biofilme können aber auch sehr nützlich sein, wie zum Beispiel für die Abwasserreinigung in Kläranlagen.

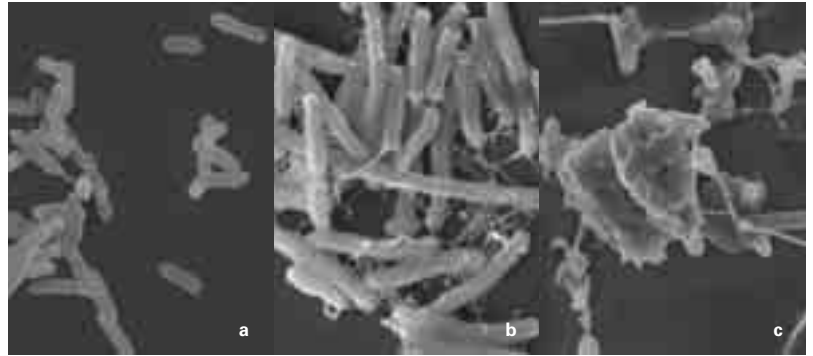
## Ziel: Wachstumskontrolle

Das Wissen um die molekularen Mechanismen, welche der Biofilmbildung zugrunde liegen, kann Wege öffnen, deren Wachstum zu kontrollieren. Solche molekularen Mechanismen wurden in Biofilm bildenden Formen des Darmbakteriums *Escherichia coli* untersucht. Einerseits weil

**Es scheint, dass Bakterien in der Evolution schon früh Biofilme entwickelt haben, um sich gemeinsam in neuen Lebensräumen halten zu können.**

die biochemischen und genetischen Eigenschaften dieses Bakteriums sehr gut bekannt sind, andererseits weil der Nachweis von *E.-coli*-Bakterien in Trinkwassersystemen ein wichtiger Indikator für fäkale Verschmutzung ist.

Bakterien müssen spezifische Gene aktivieren und die entsprechenden Proteine produzieren, um Biofilme bilden zu können. Das sind zum Beispiel Proteinfibrillen, mit denen sich die Zellen an Oberflächen festsetzen, oder Proteine, die nötig sind, um schleimige Substanzen wie Polysaccharide aus der Zelle zu schleusen. Da die Regulation der Ausbildung solcher Struktu-



Elektronenmikroskopbilder von a) Nicht Biofilm bildenden, b) Curli-Fibrillen produzierenden und c) Polysaccharid produzierenden *Escherichia coli*-Bakterien.

ren in Bakterien sehr oft auf der Stufe der Genexpression abläuft, können die verantwortlichen Gene mittels einer neueren Methode, dem «DNA-Chip», untersucht werden. Mit einem solchen Chip werden alle exprimierten Gene zweier bakterieller Stämme (zum Beispiel eines Biofilm bildenden und eines nicht Biofilm bildenden Stammes) verglichen. Die Funktion der Gene, die in den zwei untersuchten Stämmen verschieden exprimiert sind, wird dann sowohl durch genetische und biochemische Versuche als auch durch Bioinformatik charakterisiert. So können die in die Biofilmbildung involvierten Gene identifiziert werden.

Mit Hilfe dieser Methode wurden die Gene für die so genannten Curli-Fibrillen, schon bekannte Faktoren in der Biofilmbildung, gefunden. Zudem wurden neue Gene und Faktoren, die zur Produktion von Polysacchariden führen, identifiziert. Diese Polysaccharide verleihen den Bakterien starke Adhäsionsfähigkeiten.

## Anpassung an harte Umweltbedingungen

Die in Biofilmbildung involvierten Faktoren, Curli-Fibrillen- und Polysaccharid-Produktion, werden unter Wachs-

tumsbedingungen synthetisiert, die das Darmbakterium *E. coli* normalerweise nur ausserhalb eines Wirtes findet: bei tiefen Temperaturen und geringen Nährstoffkonzentrationen. Daher denken wir, dass die Lebensweise im Biofilm eine Anpassung an härtere Bedingungen in der Umwelt ist, die den Bakterien das Überleben sichert. Andere Arten, darunter auch pathogene Stämme, exprimieren ähnliche Gene. Dies weist darauf hin, dass Biofilm-Faktoren schon sehr früh in der Evolution entwickelt wurden und sich als vorteilhaft für das Kolonisieren bestimmter Lebensräume erwiesen haben. Zur Biofilmbildung siehe auch Beitrag Seite 22. ○ ○ ○

Brombacher Eva: Function and regulatory mechanisms of genes involved in microbial adhesion and biofilm formation (Dissertation, Juni 2004).  
[http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/EAWAG\\_04006.pdf](http://library.eawag.ch/EAWAG-Publications/pdf/EAWAG_04006.pdf)

# Mehr Sicherheit für Trinkwasserqualität

**Bakteriologische Verunreinigungen können bei Wasserversorgern und Konsumenten Probleme verursachen. An der Eawag ist eine neue Methode entwickelt worden, um die mikrobielle Qualität von Trinkwasser schneller, zuverlässiger und günstiger zu bestimmen, als dies bisher möglich war. Sie setzt auf eine Analyse des im Wasser verfügbaren organischen Kohlenstoffs.**

Frederik A. Hammes, Thomas Egli

Wasserversorger versuchen, bakteriologische Verunreinigungen im Trinkwasser frühzeitig zu erkennen und zu bekämpfen. Aber auch Verbrauchern kann eine bakterienbedingte Schleimbildung in Leitungen, Geräten und Prozessen Probleme verursachen. Ob Wasser auch noch nach tagelangem Aufenthalt in Reservoiren und im Leitungsnetz geniessbar beim Konsumenten ankommt, entscheidet in den meisten Fällen die Konzentration an rasch verfügbarem organischem Kohlenstoff (assimilable organic carbon, AOC). Je höher der AOC-Gehalt, desto rascher können mikrobielle Verunreinigungen wachsen. Trotzdem wird die Analyse bis heute nicht routinemässig eingesetzt, denn auf den AOC-Wert kann nur über das Wachstum von Bakterien zurückgeschlossen werden. Die bisher dazu eingesetzte Methode ist langwierig und arbeitsaufwändig. Zudem haben ihre Resultate erst nach nur beschränkter Aussagekraft für komplex zusammengesetzte Wässer aus natürlichen Quellen, weil die Analyse nur einen einzigen Bakterienstamm einsetzt, der nicht alle AOC-Verbindungen aufnimmt.

## Stunden statt Tage

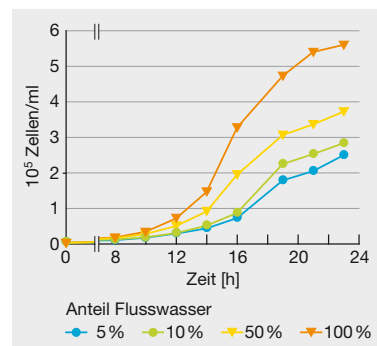
Unser bereits patentgeschütztes Verfahren räumt diese Defizite weitgehend aus. Statt bis zu 12 Tage auf das Wachsen von Zellkulturen in der Wasserprobe zu warten, zählen wir mit einem bisher vor allem in der Medizin eingesetzten Zytometer diejenigen Zellen, welche das Wachstumspotenzial in der Probe anzeigen. Ausserdem ist der Nachweis gelungen, dass das Wachstum strengen Regeln folgt. So erlaubt die Methode bereits innert 6 bis 12 Stunden erste und nach 24 bis 36 Stunden zuverlässige Aussagen zum AOC-Wert einer Wasserprobe. Die Resultate, welche das

neue Verfahren liefert, sind breiter abgestützt als in der herkömmlichen Methode, da sie auch Zellen erfasst, die zeitweilig inaktiv oder unter künstlichen Bedingungen gar nicht kultivierbar sind. Denn wir arbeiten mit Bakterien-Mischkulturen, wie sie direkt im zu untersuchenden Wasser vorkommen.

Unsere Methodik kann in einem einzigen Gerät zusammengefasst werden. Die Komponenten dazu existieren in anderen Anwendungen bereits, kostspielige Entwicklungsarbeit ist nicht mehr nötig. Das Marktpotenzial wäre weltweit riesig. Nebst den Trinkwasserversorgern ist die rasche und wesentlich günstigere AOC-Bestimmung auch für Mineralwasserabfüller interessant. Die Industrie kann Prozesse dank frühzeitiger AOC-Analyse optimieren – zum Beispiel, um die Bildung von lästigen Biofilmen auf nassen Oberflächen verhindern zu können.

## Bei höheren Werten stabil

Obwohl AOC im Wasser maximal wenige Prozent des organischen Kohlenstoffs ausmacht, begrenzt er in den meisten Fällen das Wachstum der



Zellwachstum in vier Wasserproben. Der vom Anteil Flusswasser unabhängige exponentielle Verlauf in der Zeit zwischen 12 und 22 Stunden lässt bereits früh auf den Endpunkt schliessen und erlaubt damit die Bestimmung des AOC-Gehalts der Proben.



Frederik Hammes am Durchfluss-Zytometer der Eawag.

Biomasse. Statt chemische Oxidationsmittel (z. B. Chlor, Ozon) beizugeben, versucht man daher in der Trinkwasseraufbereitung je länger je mehr, die AOC-Konzentration zu reduzieren oder AOC zusammen mit den zwei weiteren wichtigen Nährstoffen, Stickstoff und Phosphor, zu entfernen. Bisher ist man davon ausgegangen, dass Trinkwasser mit einem AOC-Wert unter 10 µg/l biologisch stabil ist. Unsere Analyse führt zu deutlich höheren AOC-Werten, da mehr Zellen erfasst werden. Das Wasser ist deswegen aber nicht weniger stabil. Vielmehr zeigt die Zusammenarbeit mit grossen Wasserversorgern jetzt, dass dieser Richtwert von 10 µg/l nur im Zusammenhang mit der angewandten Methodik gesehen werden darf. ○ ○ ○

**Das Marktpotenzial für ein AOC-Analysegerät mit unserer neuen Methodik ist riesig.**

Hammes F., Egli T. (2005): New Method for Assimilable Organic Carbon Determination Using Flow-Cytometric Enumeration and a Natural Microbial Consortium as Inoculum. *Environmental Science and Technology*, 39, 9-2005, 3289–3294.



# Die Eawag

## durch das Jahr

# 2004

**Engagiert und kompetent sind an der Eawag 2004 die laufenden Forschungsprojekte vorangetrieben und Veranstaltungen durchgeführt worden. Neues wurde in Angriff genommen und erfolgreich konnte auch der «Teamgeist» gefördert werden. Im Folgenden einige ausgewählte Ereignisse aus dem Berichtsjahr.** Andri Bryner

## Wave21 angerollt

Anfangs 2004 ist als neues transdisziplinäres Projekt Wave21 in Angriff genommen worden. Der Name steht für «Wasserversorgung im 21. Jahrhundert». Ziel des Vorhabens ist die Optimierung von Prozessen zur Trinkwasseraufbereitung mit neuen Methoden, unter anderem mit Membranen. Bereits ist das Projektteam der Eawag Partnerschaften eingegangen, so mit der Wasserversorgung der Stadt Zürich und mit international tätigen Unternehmen für Wasser- und Abwasserbehandlung. Im Rah-

men von Wave21 ist unter anderem eine Methode entwickelt worden zur AOC-Messung (s. Seite 51). Zur Detektion von Viren im Trinkwasser wurden Versuche mit Fliess-Zytometrie durchgeführt, zusammen mit Empa, ETH und Uni Genf wurden Methoden getestet, wie im Zürichseewasser Nanopartikel charakterisiert werden können. [www.wave21.eawag.ch](http://www.wave21.eawag.ch)

zerischen Fischereiverband, der chemischen Industrie und der Universität Bern gestartete Vorhaben hatte zum Ziel, den drastischen Rückgang der Fischfangerträge aus Fliessgewässern seit 1980 zu erklären. Als Hauptursachen haben die umfangreichen Forschungsarbeiten die Infektionskrankheit PKD, den schlechten Zustand der Lebensräume und chemische Belastungen der Gewässer identifiziert. Allerdings unterscheidet sich die Gewichtung der Hintergründe von Gewässer zu Gewässer markant. Als Folgeprojekt wurde

## Grossprojekt Fischnetz

Am 29./30. Januar informierten das Buwal und die Eawag über den Abschluss des Projektes Fischnetz. Das 1998 gemeinsam mit Liechtenstein, allen Kantonen, dem Schwei-

Oben: Am 20. Oktober 2004 wurde der Grundstein gelegt für den Eawag-Empa-Neubau «Forum Chriesbach». Im Frühling 2005 stand das Haus im Rohbau, im Frühsommer 2006 soll es bezogen werden (Bild: A. Bryner). Unten: Mit Hilfe der Feuerwehr und weiteren Helferinnen und Helfern hat das Umwelt-Team das Wasser aus den Versuchsweihern in das neue Biotop gepumpt und Lebewesen umgesiedelt (Bild: Y. Lehnhard).

Elektrobofischung  
im Rahmen des  
Projekts Fischnetz  
an der Luthern.



Eawag

Fischnetz+ lanciert – mit dem Ziel, die gewonnenen Erkenntnisse für die Praxis nutzbar zu machen.

Am 1. Juli nahm zudem an der Eawag in Kastanienbaum die Fischereiberatungsstelle Fiber ihre Tätigkeit auf. Die gesamtschweizerische Einrichtung wird vom Buwal, dem Fischereiverband und der Eawag gemeinsam getragen. Die zwei Teilzeitmitarbeitenden haben seither zahlreiche Anfragen behandelt, 37 Vorträge gehalten, ein Fachseminar organisiert und umfangreiches Informationsmaterial erstellt.

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

Verleihung des  
Energy-Globe-  
Sonderpreises an  
Sodis-Projektleiter  
Martin Wegelin  
im April 2005 an  
der Weltausstellung  
in Aichi/Japan.



Energy Globe, GEG

## Preisgekröntes Engagement

Insgesamt 15 an Eawag-Forschende gesprochene Preise zeugen auch 2004 vom Engagement der Gewinner und von Innovation aus dem Wasserforschungs-Institut des ETH-Bereichs. Stellvertretend für alle Preisträgerinnen und Preisträger seien hier die folgenden drei erwähnt: Die Abteilung Sandec erhielt den weltweit bedeutenden Energy-Globe-Sonderpreis für die Erforschung, Optimierung und Verbreitung der solaren Wasserdesinfektion mit Pet-Flaschen (Bild); Scott Tiegs für seine Arbeit über Flussökologie den «Petersen Award» der North American Benthological Society; Stephan Hug den «Excellence in Review Award» der Zeitschrift «Environmental Science and Technology». ○ ○ ○

## Intensiv genutzte Weiterbildung

Unter dem Siegel «Peak» (Praxisorientierte Eawag-Kurse) wurden 2004 8 Anlässe mit insgesamt 160 Teilnehmenden durchgeführt. Erfreulich waren das Echo auf die Kurse im Bereich

Abwasseraufbereitung und das grosse Interesse am Ökotoxikologie-Kurs coetox. Zwei Module dieses Kurses wurden in Zusammenarbeit mit der EPF Lausanne und dem Forschungsinstitut Cemagref Lyon durchgeführt. Aufgrund der gestiegenen Nachfrage, insbesondere in Frankreich, wurde der bisher gemischtsprachige Kurs neu in eine deutsche und eine französische Version aufgetrennt. Auf sehr grosses Interesse gestossen sind nebst den «Peak»-Anlässen mehrere international ausgerichtete Workshops, zum Beispiel im Mai über Radionuklidtransport im Grundwasser (Meiringen) und im August auf dem Monte Verità (Ascona) zum Thema «Internal Exposure: linking bioavailability to effect».

Agenda der Eawag-Veranstaltungen:

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

## Ein Schiff wird kommen

Am 21. Juni hat die Eawag in Kastanienbaum mit einem kleinen Fest das neue Forschungsschiff «Peca» (lat. Egli) getauft. Das 9 Meter lange Boot ersetzt die 2001 ausser Betrieb gesetzte «Hans Bachmann». Es bietet maximal 12 Personen Platz und wird vor allem für Schulungszwecke und Probenahmen eingesetzt. ○ ○ ○



Eawag



Eawag

## Velofreundlicher Betrieb

Die Eawag hat zusammen mit vier weiteren Betrieben im Juni den Anerkennungspreis als velofreundlicher Betrieb 2004 erhalten. Dieser Preis wurde durch die IG Velo Schweiz im Rahmen des prix pegasus am 23. Juni zum vierten Mal verliehen. Im Jurybericht werden Innovation und die kombinierte Mobilität mit öffentlichen Verkehrsmitteln und Velo besonders herausgehoben. Die Eawag bietet ihren Mitarbeitenden gesicherte Einstellmöglichkeiten an den umliegenden Bahnhöfen. Durch Entrümpelungsaktionen auf dem eigenen Gelände liess sich ein Pool von Leihvelos schaffen. Die Fahrräder werden in der eigenen Werkstatt sachgemäss gewartet. Die Arbeiten werden über den Eawag-Umweltfonds finanziert.

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

## Neue Abteilung Fischökologie

Am 1. Juni hat unter Ole Seehausen die neue Abteilung für Fischökologie und Evolution ihre Arbeit aufgenommen. Die Gruppe forscht nicht nur im Bereich Ökologie und Biodiversität der Fische, sondern bindet die aktuellen Resultate in die Evolutionsbiologie ein. Die Frage, wie es zu den Unterschieden zwischen den Arten und den Populationen gekommen ist, steht damit im Zentrum. Ole Seehausen besetzt an der Universität Bern gleichzeitig die Professur für Aquatische Ökologie. [www.fishecology.ch](http://www.fishecology.ch)

## Zusammenhalt fördern

Dass «Corporate Identity» nicht nur aus einem neuen Logo und einem einheitlichen visuellen Auftritt besteht, haben die Eawag-Mitarbeitenden auch 2004 an zahlreichen gemeinsamen Anlässen bewiesen. Am 3. September führte eine Exkursion unter dem Motto «Stein und Wasser» auf den Erlebnisparcours «Weg der Zeit» entlang der Engelberger Aa. Anschliessend feierte die Belegschaft beider Standorte ein Sommerfest in Kastanienbaum (Bild). Die traditionellen Fussballspiele zwischen den Hausmannschaften endeten mit 2:4 und 6:5 beide zugunsten von Dübendorf. Zu Höhepunkten gerieten ausserdem die beiden Weihnachtsfeiern – in Kastanienbaum unter dem Motto «Tropical», in Dübendorf zum Thema «kopfloses Recycling».

○○○



Eawag

## Umzug für Frosch, Molch & Co.

Weil das Eawag-Versuchsbiotop in Dübendorf dem Neubau «Forum Chriesbach» weichen muss, hat das Umwelt-Team angeregt, einen Ersatz zu schaffen. So entstand im Frühsommer mit Hilfe des technischen Dienstes, dem Gärtner und den Lernenden ein neuer Weiher vor dem Laborgebäude (Bild). Am 8. Juli wurden in einer grossen Aktion Teichpflanzen sowie kleine und grössere Lebe-

H. Bühner



wesen aus den Versuchsteichen ins neue Biotop gezügelt. Um ihnen möglichst ähnliche Bedingungen zu bieten wie am alten Ort, hat die Feuerwehr auch Teichwasser und Schlamm vom alten in den neuen Teich gepumpt.

○○○

## Attraktive Ausbildung

Ende 2004 hat die Eawag Ausbildungsplätze für 24 Lernende angeboten – 16 angehende Chemie- und 3 Biologielaboranten, 3 Kauffrauen/-männer und 2 Informatiker. 9 junge Berufsleute haben ihre Lehre 2004 erfolgreich abgeschlossen. Zu den Höhepunkten im Berichtsjahr zählte das Lehrlingslager in Adelboden. Nebst den intensiven Vorbereitungen auf die Abschlussprüfungen und dem Skifahren blieb dank Begleitung durch den Psychologen und Publizisten Werner Fritschi auch Raum für philosophische Diskussionen – eine



A. Bryner

Lehre an der Eawag ist eine ganzheitliche Ausbildung. Im AuA-Labor (Analytik und Ausbildung) wurden 2004 im Auftrag der Forschungsabteilungen und teilweise auch für Externe über 24 000 Parameter analysiert (Bild). Der Ausbildungsverbund mit dem Institut Bachema (Schlieren) und Coca-Cola (Dietlikon) hat sich bewährt. ○ ○ ○

## WRQ-Projekt gestartet

Jürg Busenhard (Swiss Re) mit Richard Gamma (SGCI) und Steven Eisenreich (EU) auf dem IWMC-Podium (von links).



Eawag

ins Zentrum gerückt. Hohe Salzgehalte sowie Fluor, Arsen und Selen kontaminieren weltweit das Trinkwasser von Hunderten Millionen Menschen. WRQ will besonders gefährdete Gebiete frühzeitig erkennen und die Folgen geochemischer Prozesse auf die Trinkwasserqualität abschätzen können. Schliesslich sollen im Projekt auch Strategien entwickelt werden, wie belastetes Wasser behandelt werden kann – insbesondere in strukturschwachen Ländern der ariden Zonen, wo der Druck auf die Wasserressourcen besonders hoch ist. ○ ○ ○

## Gewässerschutz international

Vom 28. September bis zum 1. Oktober hat die Eawag zusammen mit dem Rückversicherer Swiss Re den «International Water Management Course, IWMC» durchgeführt. 17 Teilnehmende aus 9 Nationen beschäftigten sich intensiv mit nachhaltigen

Lösungen zum Schwerpunkt Fluss-Management. An einer gut besuchten öffentlichen Veranstaltung diskutierte die Eawag am 30. September zudem mit hochrangigen Vertretern aus Wissenschaft und Politik sowie von Versicherungen und internationalen Umweltverbänden zum Thema «Grenzüberschreitende Gewässerverschmutzung». [www.iwmc.ch](http://www.iwmc.ch)

## Grundstein gelegt

Am 20. Oktober wurde der Grundstein gelegt für das Gebäude «Forum Chriesbach». Der gemeinsam von Empa und Eawag geplante, auf rund 32 Millionen Franken veranschlagte Neubau soll im Mai 2006 bezugsbereit sein. Er ersetzt Mietobjekte und deckt neue Bedürfnisse für Forschungs- und Ausbildungsaktivitäten ab. Nebst Büros entstehen Seminarräume, ein Hörsaal, die gemeinsame Empa/Eawag-Bibliothek und eine Cafeteria. Das besondere am neuen Haus ist zum einen seine Architektur,



Corina Fühmann



Michael Meyer

Probenahmen auf Lac de Zeuzier im Wallis.

die mit einem Atrium nach innen und einer Glaslamellenfassade nach aussen deutliche Akzente setzen wird. Zum anderen soll das Objekt auch dank minimalstem Energieverbrauch und nachhaltiger Haustechnik (Regenwassernutzung, Urinseparierung etc.) zum Vorzeigebau werden. Parallel zum «Forum Chriesbach» wurden Vorarbeiten für den Bau eines Kinderpavillons und zur Sanierung und Aufstockung des Bürogebäudes in Angriff genommen. Infos und Webcam: [www.forumchriesbach.eawag.ch](http://www.forumchriesbach.eawag.ch)

## Rhone-Thur-Projekt

Begleitend zu Flussbauprojekten in den Kantonen Wallis und Thurgau läuft bereits seit 2001 das transdisziplinäre Forschungsprojekt Rhone-Thur von Eawag, WSL, BWG und Buwal. In Zusammenarbeit mit ETHZ, EPFL und den Kantonen setzt die Eawag darin folgende Themen in den Mittelpunkt: Ökologische Wirkungen von Gerinne-Aufweitungen, Auswirkungen von Schwall-Sunk-Effekten durch den Betrieb von Speicherkraftwerken (Rhone), Erfolgskontrollen und Monitoring bei Revitalisierungs-

massnahmen, Entscheidungsfindung und -ablauf bei Revitalisierungsprojekten unter Einbezug aller Beteiligten und Betroffenen. Abgeschlossen wurden 2004 unter anderem die Zustandsanalysen an der Rhone, ein Wahrscheinlichkeits-Netzwerkmodell zu Auswirkungen von Hochwasserschutz- und Revitalisierungsmassnahmen sowie die Vorbereitungen für das Handbuch zur Erfolgskontrolle. Am 28. Oktober wurde ein international besuchter Workshop über Erfolgskontrollen bei Flussrevitalisierungen durchgeführt, am 13. November an der ETH eine Tagung zum Thema «Hochwasserschutz und Flussrevitalisierungen – Synergien für Mensch und Umwelt» mit über 150 Teilnehmenden. [www.rhone-thur.eawag.ch](http://www.rhone-thur.eawag.ch)

## Etappen für Novaquatis

Das 2000 lancierte Projekt Novaquatis befasst sich vor dem Hintergrund eines nachhaltigen Umgangs mit Ressourcen mit der Urinseparierung als neuem Element in der Abwasserentsorgung. Zu den wichtigsten, 2004 abgeschlossenen Arbeiten des integrativen Vorhabens gehört der

Nachweis, dass von den getesteten, dem Urin zugegebenen Pharmaka weniger als 5% in das Düngerprodukt Struvit eingebunden werden. Zudem wurden unter anderem die Entwicklung einer ökotoxikologischen Testserie abgeschlossen und in Zusammenarbeit mit dem Buwal ein neues Teilprojekt gestartet, welches schweizweit das Gefährdungspotenzial von Pharmaka und deren Metaboliten im Urin und in den Fäkalien abschätzen soll. Für den Neubau «Forum Chriesbach» wurde die Urinseparierung mit eingeplant. Alle acht Arbeitspakete im Rahmen von Novaquatis sollen 2006 abgeschlossen werden. [www.novaquatis.eawag.ch](http://www.novaquatis.eawag.ch)

## Wertvoller Austausch

30 Besuchergruppen liessen sich 2004 in Dübendorf und in Kastanienbaum über die Eawag informieren. Gleich zweimal durfte hoher Besuch aus China empfangen werden, im Februar das «Chinese People's Institute of Foreign Affairs», begleitet vom ehemaligen Zürcher Stadtpräsidenten Thomas Wagner, und im November die «Yellow River Conservancy Commission». Auch der amtierende Zürcher Stadtpräsident, Elmar Ledergerber, liess es sich nicht nehmen, die Eawag persönlich kennen zu lernen. Grosses Interesse sowohl an unseren Arbeiten als auch unserer Organisation zeigten andere Forschungsinstitute wie das «International Institute for Infrastructure, Hydraulics and Environment» (Holland) oder das «Zuckerberg Institute for Water Research» (Israel). Journalistendelegationen empfingen wir aus Ägypten, Ghana und Nigeria. In Kastanienbaum fanden zudem 10 externe Kurse statt, vorwiegend Projektwochen von Mittelschulen. ○ ○ ○

# Alexander J. B. Zehnder

**Zwölf Jahre lang, von 1992 bis 2004, hat Alexander J. B. Zehnder die Eawag geprägt. Nicht nur als Direktor, sondern auch als engagierter Wissenschaftler hat er Zeichen gesetzt und seine Mitarbeitenden immer wieder zu international beachteten Leistungen motiviert.** Ueli Bundi, Rik I. L. Eggen

Alexander J. B. Zehnder, für die meisten «Sascha» Zehnder, hat die Eawag von 1992–2004 geleitet. Ende Juni 2004 ist er zurückgetreten, um als Präsident des ETH-Rates weiter zu wirken. In den zwölf Jahren als Direktor hat er die Eawag zu einem starken wissenschaftlichen Institut weiterentwickelt, das im Wasserbereich international prägend ist.

Das erfolgreiche Wirken von Sascha fusst auf einer seltenen Kombination hervorragender persönlicher Eigenschaften. Seine wissenschaftlichen Visionen und seine Motivationskraft animierten viele Mitarbeitende dazu, sich mit eigenständigen, innovativen Forschungsarbeiten zu profilieren. In der Summe führte das zu einer kontinuierlich steigenden wissenschaftlichen Präsenz der Eawag. Unterstützt wurde diese durch die aktive Botschaftertätigkeit von Sascha Zehnder, die er mit seinen weltweiten Kontakten zu vielen angesehenen Institutionen, Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern dauernd wahrgenommen hat.

## Forschung für das Wasser

Sehr wichtig für die Ausstrahlung der Eawag sind die Studierenden und Mitarbeitenden, die hier ihre fachliche und wissenschaftliche Identität entwickeln. In der Ära Zehnder haben jedes Jahr im Durchschnitt 20 Forscherinnen und Forscher ihr Doktorat abgeschlossen und mehrere Personen den Titel einer Professorin oder eines Professors erlangt. In den vergangenen Jahren wurden an der Eawag auch neuartige transdisziplinäre Forschungsansätze aufgenommen. Im Zusammenwirken verschiedener Disziplinen und unter Einbezug wesentlicher Akteure werden dabei Probleme analysiert und Lösungen entwickelt. Es ist ein grosses Verdienst von Sascha Zehnder, dass er für diese wissenschaftlich risikoreichen Vorhaben den nöti-

gen Rückhalt geboten hat. Umgekehrt konnte er aber auch immer auf den Rückhalt unter den hoch motivierten Mitarbeitenden und auf die Qualität ihrer Arbeit zählen. Zu seiner eigenen Motivation zählt sicher sein Credo, dass Forschung, die mit öffentlichen Mitteln finanziert ist, jederzeit ihre Nützlichkeit für die Gesellschaft belegen können muss. Entsprechend setzte er sich auch immer dafür ein, dass die Eawag ein offenes Ohr für die Anliegen der Praxis hat und bereit steht, diese zu unterstützen.

Ausgeprägt ist Sascha Zehnders Nase für kritische Problempunkte und künftige Entwicklungen. Er befasste sich schon früh mit den quantitativen Aspekten des Wassers für menschliche Bedürfnisse, Nahrungsmittelproduktion, Energie und Ökosysteme. Dabei erkannte er die überragende Bedeutung des für die Landwirtschaft benötigten Wassers. Er schuf den heute breit verwendeten Begriff «Virtuelles Wasser» – diejenige Wassermenge, welche für die Erzeugung eines landwirtschaftlichen Produktes wie Weizen oder Fleisch benötigt wird. Daraus ergab sich, dass der internationale Handel mit landwirtschaftlichen Produkten zugleich auch ein Handel mit Wasser ist, der es ermöglicht, regionale Wasserdefizite auszugleichen.

## Profiliertes Wissenschaftler

Es gehört zu Sascha Zehnders hervorragenden Verdiensten, dass er sich nebst den fordernden Aufgaben als Direktor auch als profiliertes Wissenschaftler hat behaupten können. 45 seiner 79 Doktoranden haben ihre Dissertation in Dübendorf geschrieben und dort ihre Doktorprüfung abgelegt. 88 seiner insgesamt 204 Publikationen sind in dieser Zeit in begutachteten Fachzeitschriften erschienen. Längst stand er nicht mehr an vorderster Front im Labor, sondern sass – war er nicht irgendwo unterwegs, um für das Wohl der Eawag einzutreten – in seinem Büro. Und dennoch schaffte er es, am Ball zu bleiben und



seinen Doktorandinnen und Doktoranden das ehrliche Gefühl zu vermitteln, sie seien es, die gerade die wichtigste Arbeit der Welt schrieben. Konsequenterweise folgend, dass Forschung nicht verwaltet werden kann und darf, gewährte er den Leuten genau den Freiraum, den sie brauchten, um kreativ zu werden. Wie kaum ein anderer verstand er die hohe Kunst, aus allen das Beste zu holen. Ein grosser Teil des so geförderten Nachwuchses nimmt heute auf der ganzen Welt hohe Posten in renommierten Instituten ein.

In den unterschiedlichsten Forschungsgebieten hat er neue Horizonte eröffnet – von der Ökologie über die Physiologie bis hin zur Biochemie und der Molekularbiologie von Mikroorganismen, aber auch in der Anwendung mikrobieller Prozesse in der Umweltbiotechnologie und in der Wechselwirkung zwischen Mikroorganismen und ihrer Umwelt. Starke Zeichen setzte er in den Bereichen Schadstoffabbau, Biofilme und Antikorrosionsschutz. Es waren Sascha Zehnders Impulse, die zu einer Neuorientierung in der Ökotoxikologie geführt haben, wo er mit Nachdruck das Verständnis von Prozessen anstatt pure Phänomenologie forderte. Als Folge davon arbeitet die Umweltforschung an der Eawag vermehrt mit molekularorientierten Ansätzen. Diese Strategie leistet einen wesentlichen Beitrag zum nachhaltigen Umgang mit (aquatischen) Ökosystemen und ist heute nicht mehr wegzudenken.

### Starke Führung

Auch als Manager und Organisationsgestalter hat Sascha Zehnder die Eawag nachhaltig geprägt. Mit der im Jahr 2000 vollzogenen Reorganisation schuf er die Voraussetzungen für eine wissenschaftlich und administrativ äusserst effiziente Organisation. Die Reorganisation ist Ausdruck seines zugleich umsichtigen wie schnörkellosen Führungsstils. Mit seinem Humor und seiner unkomplizierten, offenen Art war er ein Direktor für alle – nicht nur für die Forscherinnen und Forscher.

Was Sascha Zehnder nun hinterlässt, ist die Herausforderung, seine hohen Massstäbe aufrechtzuerhalten und seinen erfolgreichen Kurs weiterzuentwickeln. Das erfordert in erster Linie eine international hoch stehende Forschung, verbunden mit dem intensiven Bemühen, zu-

## Zu Sascha Zehnders Stärken gehörte, allen das Gefühl zu vermitteln, sie seien es, die gerade die wichtigste Sache der Welt erforschten.

kunftsweisende Ansätze für die Lösung national und international brennender Wasserprobleme zu entwickeln. Sascha Zehnder hat den Blick aufs Ganze nie verloren. Damit stiess er auch bei Kolleginnen und Kollegen anderer Disziplinen auf grosse Akzeptanz. Die Eawag, so hat er selbst einmal gesagt, wird den Rücktritt auch dieses Direktors überleben. Aber sein Weggang bleibt trotzdem ein Verlust. Im Namen der Direktion und der Mitarbeitenden sprechen wir Sascha Zehnder einen grossen

Dank für seine hervorragenden Verdienste für die Eawag aus. Wir wünschen ihm in seiner neuen Tätigkeit viel Erfolg und Freude. Von seinem Eintreten für einen profilierten und engagierten ETH-Bereich, in dem die Forschungsanstalten eine wichtige Rolle an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Nutzbarmachung wissenschaftlicher Erkenntnisse spielen, erhoffen wir uns viele bereichernde Impulse. ○ ○ ○

### Der ETH-Rat

Der ETH-Rat bestimmt im Auftrag des Bundes die Strategie des ETH-Bereichs mit insgesamt rund 12 000 Beschäftigten und 19 000 Studierenden. Den einzelnen Institutionen kommt eine weitgehende Autonomie zu. Zum ETH-Bereich gehören die beiden Hochschulen ETH Zürich und EPFL Lausanne sowie die vier Forschungsinstitutionen PSI (Paul Scherrer Institut), Empa (Materials Science & Technology), WSL (Wald, Schnee und Landschaft) und Eawag (Aquatic Research). Alexander Zehnder ist seit dem 1. Juli 2004 Präsident des ETH-Rates. Die weiteren Mitglieder: Ernst Buschor (Vizepräsident), Patrick Aebischer (EPFL), Adriano Aguzzi, Kristin Becker van Slooten (für die Hochschulversammlungen), Monica Duca Widmer, Ralph Eichler (für die Forschungsanstalten), Paul L. Herrling, Beth Krasna, Olaf Kübler (ETHZ). [www.ethrat.ch](http://www.ethrat.ch)

# Von Anfängen und Enden – Kommentar zu einer endlichen Geschichte

Peter Baccini



Am 1. April 1974 trat ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Eawag ein. Zusammen mit René Gächter, Dieter Imboden und Mike Sturm baute ich am Laboratorium Kastanienbaum eine multidisziplinäre limnologische Forschung auf. Am 1. Oktober 1983 übernahm ich in Dübendorf die Leitung der Abteilung «Feste Abfallstoffe», die ich innert acht Jahren schrittweise zum universitären Forschungs- und Lehrbereich «Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik» (S+E) entwickelte. Am 30. September 2004, mit meiner Emeritierung als ETH-Professor, wurde diese Abteilung an der Eawag aufgelöst.

## Kind und Kegel

Die Leiter kleiner und mittelgrosser Unternehmen bedienen sich gerne der Metapher Familie, wenn sie das Wesen ihres Betriebsklimas vor versammelter Belegschaft beschreiben. Um es gleich vorwegzunehmen: Die S+E gehörte nie zu den Lieblingstöchtern der Eawag-Familie. Eigentlich wurde sie stets aus einfachen ökonomischen und politischen Gründen am Familientisch geduldet. Die Geschwister hofften auf frühzeitiges Erbgut des schwächlichen Kegels (Kegel: alte Bezeichnung für uneheliche Kinder), und die Eltern taktierten nach aussen mit einer statutarischen Pfründe, die man nicht leichtfertig verhökert. So entnahm die S+E in Abständen von rund fünf Jahren aus Gesprächsfetzen, die aus der guten Stube oder aus Hinterzimmern in ihre Besenkammer flatterten, dass der weitere Verbleib des Kegels in der Familie wieder einmal zur Diskussion stand.

Wer bis hierher gelesen hat, könnte bereits zum Schluss kommen, dass ein ungeliebtes und verbittertes Kind im reifen Alter mit seiner Familie abrechnet, was einige Ge-

schwister wohl nicht anders erwartet haben. Wer weiter liest, wird feststellen können, dass die Metapher Familie, trotz Empfehlungen in KMU-Führungskursen, wenig taugt, um die Beziehungsgeschichte «S+E und Eawag» zu beschreiben.

## Fruchtbares Brachland

Die Eawag bedeutete für mich von Beginn weg, aber im Rückblick noch verstärkt, eine fruchtbare brache Fläche, die man, bestens ausgerüstet, mit eigenen Ideen bebauen kann. Die Metapher des Brachlandes ist auch deshalb treffend, weil ich sie in anderen Bereichen meiner beruflichen und politischen Tätigkeit (Privatwirtschaft, Verwaltung, Universität) nie derart pointiert einsetzen konnte. Die Eawag bot mir ideal-universitäre Bedingungen für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Fragen hoher gesellschaftlicher Relevanz. Diese etwas geschwollene Kurzformel will ich kurz erläutern:

**Gesellschaftlich relevant** will heissen, dass die Forschungsprojekte in den Kontext eines gesellschaftspolitischen Diskurses gestellt werden konnten (nicht mussten). Man durfte als Wissenschaftler an der Eawag schon in den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts seine Forschung auch mit der gesellschaftlichen Bedeutung etikettieren, was damals unter Naturwissenschaftlern grossmehrheitlich als verpönt galt. Legitimiert waren wir streng rechtlich durch den so genannten Beratungsauftrag, der jedoch sehr unterschiedlich interpretiert werden konnte. Am einen Ende des Beratungsspektrums arbeitete man hauptsächlich für die Zunft seiner potenziellen Anwender in der Praxis. Es ging um verfahrenstechnische Probleme und deren Lösungen. Am anderen Ende, und dieses interessierte mich am meisten, konnte man

sich einmischen in eine konzeptuelle Gestaltung ganzer Lebensbereiche. Dafür braucht man eine solide Position im Dialog mit der Politik und der Gesellschaft.

**Ideal-universitär** will heissen, dass die Forschungsgruppen die aus ihrer Sicht wichtigsten wissenschaftlichen Fragen und die zu deren Beantwortung geeigneten Methoden selbstständig auswählen können. Diese wissenschaftliche Autonomie war und ist auch heute im Spannungsfeld von Grundlagen- und angewandter Forschung nicht selbstverständlich. Die Eawag hat während meiner Zeit immer dem Druck und auch der Versuchung erfolgreich widerstanden, nur Ressortforschung als Dienstleistung für externe Auftraggeber zu betreiben.

In wenigen Worten abgerundet: Es war die Kombination «ideal-universitär» und «gesellschaftlich relevant», welche das Brachland zum fruchtbaren Ackerboden machte. In meinen Erinnerungen werden verschiedene Kaminfeuergespräche wach, in welchen mir meine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, vor allem die Doktorierenden, erzählten, dass sie eigentlich aus diesen Gründen eine Arbeit in meiner Gruppe gewählt haben. Es ist auch deshalb erwähnenswert, weil heute einige wissenschaftspolitische Aufgaben in unserem Land durch Menschen wahrgenommen werden, welche einst an der Eawag diese Kombination gelebt haben.

### Die Gunst der Stunde für die Ernte

Zwei Beispiele sollen illustrieren, wie die S+E die Rahmenbedingungen nutzen konnte.

**Das Konzept der «Endlagerqualität»:** Zu Beginn der achtziger Jahre war die Entsorgungsszene Schweiz auf dem politischen Parkett stark polarisiert [1]. In solchen Szenen wird man als wissenschaftliche Gruppe zermalmte, wenn man nur versucht, als Verfahrensexpertin aufzutreten. Unsere frühe Auseinandersetzung mit dem Gesamtsystem Entsorgung und seiner von uns in Feld- und Laborprojekten erkannten, nicht widerlegbaren schwächsten Stelle, nämlich der Deponiequalität, führte schliesslich zum Endlagerkonzept [2] (für nicht radioaktive Abfälle). Das darauf aufgebaute Leitbild für die Schweizerische Abfallwirtschaft (1986) war das Ergebnis eines politischen Diskurses, setzte unmissverständlich auf normative Entscheide, welche das Verhalten einer souveränen Gesellschaft betrifft und nicht nur auf eine naturwissenschaftlich-technische und ökonomische Argumentation. Aber auch hier half der Zufall. Der von den Medien skandalisierte Betrieb der Sonderdeponie Kölliken, die 1985 geschlossen wurde und noch zwanzig Jahre später als Sanierungsprojekt aktuell bleibt, war bestes Illustrationsbeispiel für die Problematik der gängigen Deponiepraxis.

**Das Bauwerk als Bergwerk:** Umweltforschung hat seit ihrem Bestehen das Schwergewicht auf die Wechselwirkung anthropogener Einwirkungen (energetisch und stofflich) mit der Entwicklung ganzer Ökosysteme oder deren Teile gelegt. Nur eine kleine Minderheit, zu der auch die S+E gehörte, interessierte sich für die physiologische

Funktionsweise der Anthroposphäre [3]. Mit der dafür notwendigen Entwicklung der so genannten Stoffflussanalyse, mit den mathematischen Modellen für regionale Ressourcenhaushaltssysteme, die schliesslich dynamisch beschrieben werden können [4] und mit einer mineralogisch-petrologischen Erfassung der anorganischen Materialien eröffnete sich eine neue Perspektive für das Erfassen und Bewerten des grossräumig und langfristig angelegten Stoffwechsels menschlicher Siedlungen. Der Fokus wechselt auf die Dynamik des Bauwerkes [5] und macht, so hart das klingen mag, die Entsorgungsschauplätze für kurzlebige Güter zu kleinen Trainingsanlagen, zumindest was die Forschung betrifft. Mit anderen Worten: Die S+E hat mit ihren eigenen Arbeiten ihr einstmals stolzes Flagggeschiff schrottreif ausgefahren.

### Neue Anfänge

Das Ende der S+E an der Eawag hat seine Logik in der Entwicklung beider Bereiche in den letzten zehn Jahren. Die Eawag besann sich Ende der neunziger Jahre, nach mehrjährigen Ausflügen ins erweiterte Feld der Umweltforschung, auf ihr «Kerngeschäft», das Wasser. Die S+E setzte ihrerseits konsequent auf den Ressourcenhaushalt neuer urbaner Systeme [6]. Dafür braucht es andere Partnerschaften, die sich heute an diversen universitären Institutionen weltweit entwickeln [7].

Was bleibt, für mich persönlich, sind die Dankbarkeit an die Menschen der Institution Eawag, die mir während drei Jahrzehnten fruchtbares Ackerland in Pacht gaben, und die Freude darüber, dass viele meiner ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter an anderen Orten neue Anfänge schaffen, auch mit jenen Kompetenzen, die sie sich an der S+E geholt haben. ○ ○ ○

**Genau das ist die Illusion von uns allen, die schreiben: zu glauben, dass man unsere Bücher aufschlägt und von vorne bis hinten mit angehaltenem Atem und wenigen Pausen durchliest.**

Javier Marias in «Dein Gesicht morgen»

- [1] Baccini P., 2004: Helvetische Abfallgeschichten, in: Abfall, (Hrsg. Rusterholz P., Moser R.) Kulturhistorische Vorlesungen des Collegium generale der Univ. Bern, Peter Lang Verlag, Bern.
- [2] Baccini P. (ed.), 1989: The Landfill – Reactor and Final Storage, Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 20, Springer-Verlag.
- [3] Baccini P., Brunner P.H., 1991: The Metabolism of the Anthroposphere, Springer-Verlag.
- [4] Baccini P., Bader H.P., 1996: Regionaler Stoffhaushalt, Spektrum Akademischer Verlag.
- [5] Lichtensteiger T. (ed.), 2005: Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspende (in Publikation), vdf Zürich.
- [6] Baccini P., Oswald F. (eds.), 1998: Netzstadt – Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme, vdf Zürich; Oswald F., Baccini P., 2003: Netzstadt – Einführung in das Stadtentwerfen, (englische Fassung: Designing the Urban), Birkhäuser Basel.
- [7] Auch an der Eawag werden Thomas Lichtensteiger, Hans-Peter Bader und Ruth Scheidegger ihre an der S+E entwickelten Methoden in neuen Partnerschaften einbringen, nämlich mit den Abteilungen SWW und Siam.

# Die Meinung des Personals vertreten

Claudia Bänninger, Gabriella Meier, David Kistler

Die Personalvertretung (PV) an der Eawag besteht seit Anfang 1993. Ihr Ziel ist es, den Dialog und die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeitenden und der Direktion in personellen Belangen zu fördern.

## Beratung in Konfliktsituationen

Fehlverhalten gibt es überall. Wenn aber Fehlverhalten zu Konfliktsituationen ausartet, dann wird meist fremde Hilfe benötigt. In solchen Fällen ist es wichtig, dass jeder Mitarbeitende weiss, an wen er oder sie sich wenden kann. Es ist daher ein grosses Anliegen der Personalvertretung, immer wieder auf die entsprechenden Möglichkeiten hinzuweisen. Wir möchten aber auch alle Mitarbeitenden sensibilisieren, Konfliktsituationen frühzeitig zu erkennen. Denn wenn rechtzeitig etwas unternommen wird, kann ein Eklat meist verhindert werden. In der Eawag sind wir in der glücklichen Lage, dass uns zwei erfahrene Ombudspersonen zur Seite stehen. Ihre Aufgabe ist es zu schlichten. Sie sind zum Stillschweigen verpflichtet.

Unter dem Motto «fair streiten» haben wir letztes Jahr einen Flyer für die Anschlagbretter lanciert, der auf die Problematik «Konfliktsituation» und auf die Beratungsstellen hinweist. Die wenigen Konfliktsituationen, die es im letzten Jahr gab, konnten wir zusammen mit den Beteiligten sowie mit dem Personaldienst oder einer Ombudsperson ohne viel Aufsehen lösen.

## Arbeitsgruppe Wertschätzung

Die Bestrebungen im Bereich Chancengleichheit haben 2004 Aufwind erhalten: Zwei neue Arbeitsgruppen sind ins Leben gerufen worden und haben sich zum Ziel gesetzt, für die in der Genderanalyse 2001 und im Folgeworkshop 2002 identifizierten Problemfelder Lösungen auszuarbeiten. Die eine Gruppe setzt sich mit dem Thema Wertschätzung auseinander, die andere behandelt Themen wie Karrieremöglichkeiten, Führung, Mentoring, Sichtbarkeit und Arbeitsmotivation.

Die Wertschätzungs-Gruppe arbeitete mit der Personalvertretung zusammen und hat im Sommer 2004 eine repräsentative Umfrage zu Wertschätzung und Motivation durchgeführt. Ziel war es, aus Interviews mit Mitarbeitenden verschiedener Berufsgruppen Probleme zu identifizieren und Massnahmen vorzuschlagen. Folgende Themen wurden häufig als Problemherde genannt: Führungskompetenzen, Prämiensystem und Diskrepanzen zwischen den verschiedenen Berufsgruppen. Die Arbeitsgruppe hat aus dem Antwortenpool eine Liste von Projektideen zur Verbesserung der Wertschätzung zuhanden der Direktion zusammengestellt. Sie wird auch die Umsetzung der Lösungswege begleiten. Dank den wertvollen Hinweisen der Interviewpartnerinnen und -partner können an der Eawag sicherlich weitere positive Veränderungen in Gang gesetzt werden. ○ ○ ○

# Präsent auf allen Kanälen

Andri Bryner

Die Medien- und Öffentlichkeitsarbeit der Eawag konnte sich 2004 erstmals auf ein von der Direktion verabschiedetes Kommunikationskonzept abstützen. Zu den Basisdienstleistungen, wie Betreuung von Besuchergruppen, Beantwortung von Anfragen, Organisation von Seminaren und Podien, kamen die Vorbereitungen für das neue Corporate Design sowie die Begleitung verschiedener Gestaltungsaufgaben im Neubau «Forum Chriesbach» als grössere Projekte hinzu.

In Zeitungen, Zeitschriften und elektronischen Medien registrierten wir 2004 insgesamt 785 Berichterstattungen im Zusammenhang mit der Eawag. Zu den am meisten beachteten Themen gehörten das Projekt Fischnetz und die Schaffung der Fischereiberatungsstelle Fiber. Zahlreiche Berichte widmeten sich dem Projekt Sodis – der solaren Wasserdesinfektion in Pet-Flaschen, welcher im November der renommierte Umweltpreis Energy Globe verliehen wurde. Grosses Interesse von Seiten der Medien besteht nach wie vor an den Eawag-Arbeiten zu

Schweizer Seen: Varianten für eine Sanierung des Greifensees, mögliche Effekte von in Seen versenkter Munition, der Rückgang der Felchen im Brienersee oder das Nährstoff-Überangebot im Hallwilersee waren mehrfach aufgegriffene Themen. Im Zusammenhang mit dem Projekt Rhone-Thur wurde über den hohen Anteil verbauter Flüsse in der Schweiz und über mögliche Revitalisierungen berichtet. Nach dem Tsunami in Südostasien waren die Trinkwasserspezialisten der Eawag gefragt, und das Fernsehen berichtete, wie Eawag-Forscher Flutwellen im Vierwaldstättersee untersucht haben.

Eawag-Webseiten wurden 2004 über 399 000-mal abgerufen. Zu 64 % stammen die Zugriffe aus Europa, zu 25 % aus Nordamerika, die übrigen Besucherinnen und Besucher kommen aus anderen Regionen oder liessen sich nicht zuordnen. Am meisten genutzt wurden die Einstiegs- und Suchseiten; am häufigsten angefordert wurden Jahresberichte, die Unterlagen zu Workshops und Ausgaben der «Eawag news». ○ ○ ○

# Aktives Umwelt-Team

Thomas Lichtensteiger, in Zusammenarbeit mit dem Umwelt-Team

Per 1. Juli 2004 übernahm Thomas Lichtensteiger die Leitung des Umwelt-Teams und somit die Funktion als Umweltbeauftragter. Herbert Güttinger bleibt als aktiver Mitarbeiter im Team, ist weiterhin Vertreter des ETH-Bereichs in der Fachgruppe Rumba und leitet die ökologische Baubegleitung an der Eawag. Ueli Bundi löst Alexander Zehnder ab als verantwortliches Direktionsmitglied für das Umweltmanagement. Roland Schertenleib wurde neu Verantwortlicher der Direktion für den Bereich Sicherheit.

## CO<sub>2</sub>-Kompensation läuft

Durch berufliche Flugreisen der Mitarbeitenden fielen im Jahr 2004 pro Person rund 1000 kg CO<sub>2</sub> an. Zum Vergleich: Im Durchschnitt verursacht jede Person in der Schweiz pro Jahr rund 5 Tonnen CO<sub>2</sub>. Aus den erstmals erhobenen Flugabgaben (CO<sub>2</sub>-Kompensation) wurden 4800 Franken an die Stiftung Clipp (Climate Protection Partnership) weitergegeben für internationale CO<sub>2</sub>-Kompensationsprojekte. Dies sind Abgaben aus Projekten, die nicht mit Bundesgeldern finanziert wurden. 14 000 Franken gingen in einen Eawag-Fonds zugunsten interner Energiemassnahmen wie Ausbau der Fotovoltaik. Im Berichtsjahr wurden 89 Generalabonnemente bezogen, im Vorjahr waren es 96. Der Preisaufschlag der SBB Ende Jahr konnte mit einer Erhöhung der zusätzlichen Vergünstigung durch die Eawag weitgehend aufgefangen werden. Der Bestand an Leihvelos wurde auf 40 erweitert.

## Ökopläne jetzt umsetzen

Beim Neubau in Dübendorf setzt sich das Umwelt-Team dafür ein, dass die geplanten ökologischen Vorhaben umgesetzt werden. Das betrifft neben geringen Verbrauchs-

zahlen zum Beispiel Regenwassernutzung, Fotovoltaik, Recyclingbeton und andere Materialfragen sowie die Umgebungsgestaltung. Ein Besuch von zwei ökologischen Pionierbauten im Kanton Basel-Landschaft – dem «Wattwerk» Bubendorf und dem «Tenum» Liestal – gab zusätzliche Impulse. Die Versuchsteiche der Eawag weichen dem Neubau. Das Umwelt-Team ergriff die Initiative für ein Ersatzbiotop. Durch den grossen Einsatz vieler Beteiligter entstand ein Nassbiotop, das die Umgebung aufwertet und zum Verweilen einlädt. Wasser und Tiere wurden gezüchtet.

Eine Umfrage im Zuge der Neugestaltung des Personalrestaurants im Neubau zeigte, dass eine Vielzahl von Mitarbeitenden eine Umstellung auf saisongerechte Bio-produkte wünscht – ein Anliegen, das dem Umwelt-Team sehr wichtig ist. Die Eawag hat sich entschieden, die Goût-Mieux-Anforderungen des WWF in die Ausschreibung einzubeziehen.

## Rumba mit Schwung

Ende 2004 wurde die Einführung von Rumba (Ressourcen- und Umweltmanagement der Bundesverwaltung) im ETH-Bereich abgeschlossen. Ein parallel verlaufendes Projekt zu «Risiko und Sicherheit an der Eawag» ermöglichte wesentliche Synergien und wird Rumba an der Eawag auch künftig in seiner Wirkung verstärken.

Die Eawag ist derzeit daran, ihre Stoff- und Energiebuchhaltung in den Regelkreis von Rumba einzubauen. Die Zukunft liegt in der Optimierung des eigenen Betriebs im Sinne der Eawag-Umweltpolitik. Neben Ressourcen- und Umweltaspekten sollen auch Fair Trade bei allen Beschaffungen und das Wohlbefinden der Mitarbeitenden zum Tragen kommen. Im Rahmen eines obligatorischen Praktikums im Studiengang Umweltwissenschaften der Universität Bielefeld befasste sich Vanessa Kroll mit der Frage, inwieweit sich Legal-Compliance-Erfahrungen der Industrie für einen Forschungsbetrieb wie die Eawag nutzen lassen. In ihrem Schlussbericht regt sie an, Anreize zu schaffen, sich noch weiter über gesetzliche Anforderungen hinaus zu verbessern.

## Gutes tun und davon reden

Über unsere Homepage, Intranet-Einträge und die internen Anschlagbretter berichteten wir regelmässig über die Aktivitäten im Umweltbereich. Angelika Rohrbacher schuf die Basis für Informationstafeln und Broschüren zu diversen Umweltthemen. Bei der Fotovoltaik-Anlage in Kastanienbaum wurden die Erfassung der Daten und die Information verbessert.

○ ○ ○



Gaumenfreuden ohne Gewissensbisse: Dessert des Umwelt-Teams im Kastanienbaum aus Anlass des Stabwechsels von Herbert Güttinger zu Thomas Lichtensteiger.

# Organigramm

## Direktion



**Ueli Bundi**  
Direktor a.i.



**Willi Gujer**



**Roland Schertenleib**



**René Schwarzenbach**

## IGW

Institut für  
Gewässerschutz  
und Wasser-  
technologie,  
ETH Zürich

**René Schwarzenbach**

## Direktionsstab



**Peter Häni**  
Leitung



**Yvonne Uhlig**  
Public Relations



**Herbert Güttinger**  
Weiterbildung



**Isabel Wiedmer**  
Wissenstransfer

## Beratende Kommission



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



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



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



**Bernhard Jost**  
Abteilungsleiter  
Gewässerschutz,  
kantonales Amt für  
Wasser, Energie  
und Luft (Awel),  
Zürich



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



**Philippe Roch**  
Direktor, Bundes-  
amt für Umwelt,  
Wald und Land-  
schaft (Buwal), Bern

## Forschungsabteilungen



**Rolf Kipfer**  
W+T



**Bernhard Wehrli**  
Surf



**Rik Eggen**  
Utox (Umik a.i.)



**Mark Gessner**  
Lim a.i.



**Hansruedi Siegrist**  
Ing



**Peter Reichert**  
Siam



**Alfred Wüest**  
Apec



**Markus Boller**  
SWW



**Christian Zurbrugg**  
Sandec



**Christian Stamm**  
W+L



**Walter Giger**  
Chempro



**Ole Seehausen**  
Fishec

## Logistik und Marketing Leitung Ueli Bundi



**Gabriel Piepke**  
Informatik



**Pamela Graves**  
Personal + Finanzen



**Max Mauz**  
Technischer Dienst



**Monika Zemp**  
Bibliothek



**Max Reutlinger**  
Lehrlingswesen



**Arianne Maniglia**  
Kinderpavillon

Apec    Angewandte Gewässerökologie  
Chempro    Chemische Problemstoffe  
Fishec    Fischökologie und Fischevolution  
Ing    Ingenieurwissenschaft  
Lim    Limnologie  
Sandec    Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern  
Siam    Systemanalyse, Integrated Assessment und Modellierung  
Surf    Oberflächengewässer

SWW    Siedlungswasserwirtschaft  
Umik    Umweltmikrobiologie  
Utox    Umwelttoxikologie  
W+L    Wasser und Landwirtschaft  
W+T    Wasserressourcen und Trinkwasser

Stand Dezember 2004

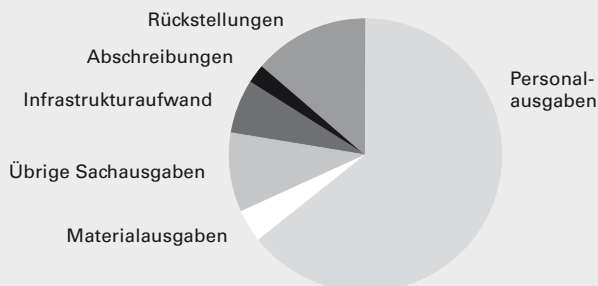
# Finanzen

Erfolgsrechnung	2002	2003	2004
Personal	32 293 164	33 353 622	33 176 228
Material	1 728 830	1 607 556	2 010 300
Übriger Sachaufwand	3 883 707	5 013 302	4 836 881
Infrastrukturaufwand	3 574 251	2 393 172	3 296 021
Abschreibungen	1 624 797	2 253 097	1 198 857
Rückstellungen	* 9 757 037	3 782 435	7 068 173
<b>Aufwand</b>	<b>52 861 786</b>	<b>48 403 184</b>	<b>51 586 460</b>
Bundesbeitrag	44 151 600	44 204 627	46 645 700
Drittmittel	8 833 085	10 481 330	9 366 328
Diverse Erlöse	440 714	877 753	620 832
Auflösung Rückstellungen	0	* 11 562 390	328 534
<b>Ertrag</b>	<b>53 425 399</b>	<b>67 126 100</b>	<b>56 961 394</b>
<b>Ergebnis</b>	<b>563 613</b>	<b>18 722 916</b>	<b>5 374 934</b>

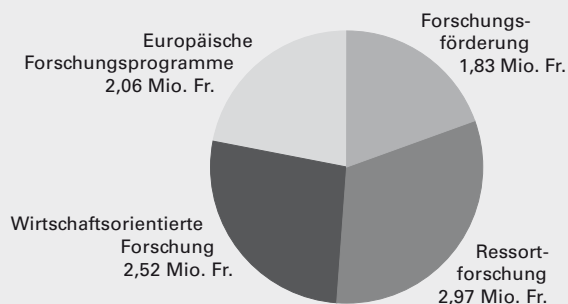
\* Die in den Jahren 2000 bis 2002 getätigten Baurückstellungen von 11,6 Mio. Fr. wurden 2003 erfolgswirksam aufgelöst.

Investitionen	4 288 966	4 910 643	10 885 559
Immobilien	1 475 865	2 396 895	6 809 532
Mobilien	1 830 259	1 996 577	3 502 837
Informatik	982 842	517 171	573 190

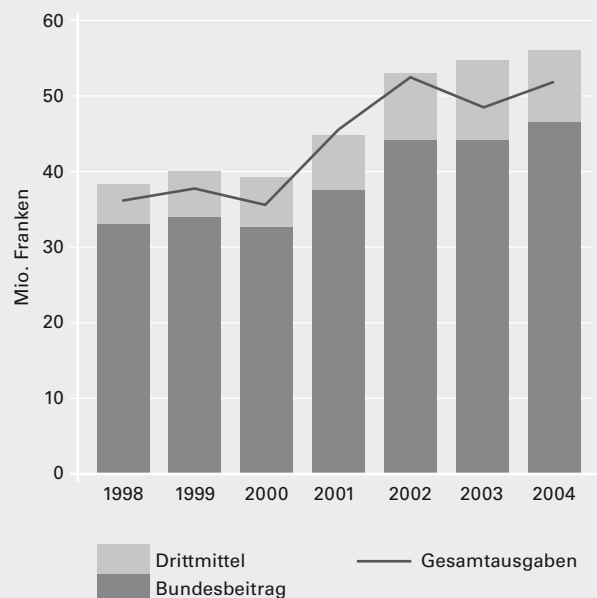
## Ausgabenverteilung 2004



## Drittmittel-Ausgaben 2004



## Entwicklung der Ausgaben (1998–2004)

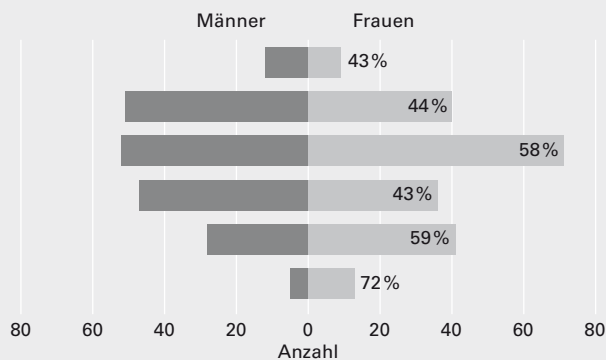


# Personen

Personal	Personen	davon Frauen	davon AusländerInnen	Vollzeit-äquivalent
ordentliche Professorinnen und Professoren	4		1	4
ausserordentliche Professorinnen und Professoren	9	1		9
Wissenschaftliche Mitarbeitende (Mittelbau)	129	41	57	110
Doktorandinnen und Doktoranden	79	34	42	67
Technisches Personal	78	33	7	65
Administratives Personal	60	50	4	36
Lernende	24	9	2	24
Praktikantinnen und Praktikanten	8	3	6	8
Angeschlossene Mitarbeitende (Krippe, Cafeteria)*	12	12	3	10
<b>Total</b>	<b>403</b>	<b>183</b>	<b>122</b>	<b>334</b>

\* davon 3 nicht bei Eawag angestellt

Altersstruktur	Frauen	Männer	Total
15–19	10	16	26
20–29	49	38	87
30–39	43	72	115
40–49	42	38	80
50–59	31	40	71
60–71	8	13	21
<b>Total</b>	<b>45,8%</b>	<b>54,3%</b>	<b>400</b>



Beschäftigungsgrad	Frauen	Männer	Total
1–49%	25	9	34
50–79%	57	23	80
80–99%	28	19	47
100%	73	166	239

Herkunft	Frauen	Männer	Total
Schweiz	129	149	278
EU-Länder	42	50	92
übriges Ausland	12	18	30

# Aktivitäten

	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>
Betreute Dissertationen	82	122	117
Betreute Diplomarbeiten	56	61	51
Publikationen in referierten Zeitschriften	136	135	142
Publikationen in nicht referierten Zeitschriften	47	58	<sup>2</sup> 43
Spin-offs	–	–	2
Patente, Lizenzverträge	1	–	2
Dienstleistungsaufträge	13	7	<sup>3</sup> 41
Preise	1	1	15
Lehrveranstaltungen ETHZ, EPFL	87	74	81
Peak-Kurse (Weiterbildung)	8	10	8
Fachtagungen	19	20	28
Mitarbeit in Kommissionen	223	229	162

<sup>1</sup> nicht systematisch erhoben

<sup>2</sup> provisorisch

<sup>3</sup> neues Reporting der Abteilungen

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

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

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



Impressum

Redaktion: Andri Bryner, Martina Bauchrowitz, Yvonne Uhlig  
Grafiken: Yvonne Lehnhard, Lydia Zweifel  
Gestaltung: TBS Identity, 8005 Zürich  
Layout: SLS Peter Nadler, 8700 Küsnacht  
Druck: Meier Waser Druck AG, 8245 Feuerthalen  
Copyright: Eawag, Mai 2005.  
Abdruck mit Quellenangabe erwünscht:  
«Eawag – aquatic research; Jahresbericht 2004».  
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 53 75

Eawag, Seestrasse 79, 4047 Kastanienbaum  
Telefon +41 (0)41 349 21 11, Fax +41 (0)41 349 21 68

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

