

news



Gesundes Wasser – ein Balanceakt zwischen Mensch und Umwelt

75 Jahre Eawag: Wasserforschung und Gewässerschutz als Daueraufgaben	4
Wasserqualität: Sind Transformationsprodukte ein Umweltrisiko?	14
Abwasserentsorgung: Die zukünftige Wasserinfrastruktur planen	22
Gewässerökologie: Global denken, lokal handeln	34



Rik Eggen,
Molekularbiologe, ist
stellvertretender Direktor
der Eawag und lehrt an
der ETH Zürich.

Hochseilakt seit 75 Jahren

Was Wasser anbelangt, ist die Schweiz in einer privilegierten Lage. Wasser ist – auch bei aussergewöhnlich geringen Regenfällen wie diesen Frühling – hierzulande kein knappes Gut. Zudem nimmt das Land seine Rolle als Wasserschloss Europas in der Regel sehr verantwortungsvoll wahr. Dies manifestiert sich im erfolgreichen Management der Wasserressourcen und -infrastrukturen heute und in der Vergangenheit. Allerdings kommt auch ein vorbildlicher Umgang mit dem Wasser nicht ohne teilweise massive Eingriffe in die aquatische Umwelt und die Landschaft aus.

Und der Druck auf die Wasserressourcen nimmt weltweit zu. Sei es die Trinkwasserversorgung, die Industrie, die Landwirtschaft, die Schifffahrt, die Energiegewinnung oder der Tourismus: Die Nutzungsansprüche der verschiedenen Akteure in unserer Multioptionsgesellschaft werden nicht weniger. Auf der anderen Seite stehen Bemühungen um den Erhalt der verbliebenen Wasserlebensräume oder deren Wiederherstellung. Auch das sind letztlich Ansprüche – wenn auch wohl begründet – bloss eines Teils der Gesellschaft.

Zwischen diesen unterschiedlichen Begehrlichkeiten, zwischen der massvollen und nachhaltigen Wassernutzung und dem ausreichenden Gewässerschutz, zwischen der Stromerzeugung und der Sicherstellung der Ökosystemdienstleistungen der aquatischen Umwelt gilt es abzuwägen und Prioritäten zu setzen – wahrlich ein Balanceakt. Auch für die Forschung sind die Herausforderungen gross, soll sie den Verantwortungsträgerinnen und -trägern doch fundiertes Wissen und möglichst verlässliche Entscheidungsgrundlagen bereitstellen.

Die Eawag tut dies bereits seit 75 Jahren mit Erfolg. Wie aus der ehemaligen Beratungsstelle der ETH für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung eines der führenden Wasserforschungsinstitute der Welt wurde, ist auch ein Thema dieser Eawag News. Eine der Konstanten in diesem Werdegang ist zum einen sicher der Anspruch, mit hochstehender und transdisziplinärer Wissenschaft einen Beitrag zu praktischen Problemlösungen zu leisten. Auch dies war und ist manchmal ein Balanceakt: zwischen verschiedenen Disziplinen oder zwischen Grundlagen-

forschung und angewandter Wissenschaft. Zum anderen wird die Eawag mit ihren Expertenberatungen und der Ausbildung von Fachleuten als kompetente und wichtige Partnerin von der Praxis geschätzt.

Einen Eindruck davon, welche Fragen die Forscherinnen und Forscher an der Eawag gegenwärtig umtreiben oder anders gesagt, wo die Wasserprobleme von heute und morgen liegen, soll das vorliegende Heft vermitteln. Ob Überwachung und Analyse von Trinkwasser, Infrastrukturmanagement und Cleantech in der Abwasserentsorgung, Siedlungshygiene in Entwicklungsländern oder Evolutionsökologie in aquatischen Lebensräumen: In den verschiedenen Beiträgen widerspiegeln sich einerseits wiederum die unterschiedlichen Interessen, welche die Gesellschaft in Bezug auf die Wasserressourcen hat, und andererseits die Vielfalt an Blickwinkeln auf das System Wasser, die den integrativen Forschungsansatz der Eawag auszeichnet. Das Resultat daraus sind nicht selten wegweisende Konzepte und innovative Technologien, die ihrer Zeit voraus sind.

Gesundes Wasser für Mensch und Umwelt ist auch im Wasserschloss Schweiz keine Selbstverständlichkeit. Es ist die Herausforderung der Zukunft, zwischen den verschiedenen, teilweise gegenläufigen Bedürfnissen die optimale Balance zu finden. Richtungsweisende und ganzheitliche Forschung kann dazu beitragen, die Bereitstellung von Wasser für die Gesundheit der Menschen und der Schutz des Wassers für die Gesundheit der Ökosysteme zu sichern.

75 Jahre Eawag

4 **Wasserforschung und Gewässerschutz als Daueraufgaben**



Auch nach 75 Jahren bleibt der Gewässerschutz eine Daueraufgabe. Zur Verbesserung der Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung sind die Früherkennung von Problemen und die Vorsorge hinzugekommen.

Wasserqualität

14 **Sind Transformationsprodukte ein Umweltrisiko?**

Nicht nur Chemikalien können eine ökotoxikologische Gefahr darstellen, sondern auch ihre Abbauprodukte. An der Eawag entwickelte chemische und biologische Analysemethoden helfen bei der Einschätzung von deren Umweltrisiko.

18 **Trinkwassermikrobiologie: vom Wissen zur Anwendung**



Mikrobielle Verunreinigungen können die Trinkwasserqualität beeinträchtigen. Neue Verfahren ermöglichen eine bessere Überwachung und ein vertieftes Verständnis über die grundlegenden mikrobiologischen Abläufe.

Abwasserentsorgung

22 **Die zukünftige Wasserinfrastruktur planen**

Eine nachhaltige Zukunftsplanung der Schweizer Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung muss auch zukünftige Bedürfnisse und Unsicherheiten umfassen. Gute Lösungen berücksichtigen den optimalen Nutzen über die gesamte Lebensdauer und sind lokal angepasst.

26 **Zusammen zu einer besseren Siedlungshygiene**



Mangelnde Siedlungshygiene sorgt in Entwicklungsländern für Durchfallerkrankungen und eine hohe Kindersterblichkeit. Verbesserungen gelingen nur mit einer Zusammenarbeit der angewandten Forschung mit NGOs, der lokalen Bevölkerung und den Behörden.

30 **Cleantech für die Abwasserreinigung der Zukunft**

Umwelttechnologien in der Abwasserreinigung müssen auch eine optimale Nutzung der Ressourcen im Abwasser einschliessen. Zukunftsweisend sind völlig neue Konzepte wie die Separierung des Urins und die Aufbereitung von dessen Nährstoffen zu Dünger.

Gewässerökologie

34 **Global denken, lokal handeln**



Bei der Renaturierung von Wasserlebensräumen spielen der Erhalt und die Stärkung lokaler Populationen eine zentrale Rolle. Denn sie bilden das Fundament eines funktionierenden Ökosystems.

38 **Die Zukunft des Wassers in einer sich wandelnden Welt**

Die Sicherstellung der vielfältigen Ökosystemdienstleistungen der aquatischen Umwelt kann nur gelingen, wenn sich die negativen Auswirkungen der Wassernutzung durch den Menschen minimieren lassen.

In Kürze

42 **Ökotoxikologieforschung ohne Tierversuche**

43 **U-Boote im Genfersee**

44 **Beurteilung von Mikroverunreinigungen**

eawag
aquatic research

Herausgeberin, Vertrieb: Eawag, Postfach 611, 8600 Dübendorf, Schweiz,
Tel. +41 (0)58 765 55 11, Fax +41 (0)58 765 50 28, www.eawag.ch

Redaktion: Andres Jordi

Mitarbeit: Andri Bryner, Anke Poiger

Copyright: Nachdruck möglich nach Absprache mit der Redaktion.

Copyright der Fotos: Eawag (sofern nicht anders gekennzeichnet)

Erscheinungsweise: Zweimal jährlich in Deutsch, Englisch und Französisch.
Chinesische Ausgabe in Zusammenarbeit mit INFOTERRA China National Focal Point.

Konzept: TBS Identity, Zürich

Satz, Bild, Grafiken und Layout: Peter Nadler, Fällanden

Gedruckt: auf Recyclingpapier

Abonnement und Adressänderung: Neuabonnentinnen und Neuabonnenten
willkommen, eawag.news@eawag.ch

ISSN 1420-3979

Wasserforschung und Gewässerschutz als Daueraufgaben

Die Geschichte der Eawag spiegelt einen immer ganzheitlicher verstandenen Gewässerschutz. Zur Verbesserung der Abwasserreinigung und Trinkwasseraufbereitung sind die Früherkennung von Problemen und die Vorsorge hinzugekommen, zur Bewältigung von drängenden Fragen die Suche nach einem Verständnis von grundlegenden Prozessen und zum rein schweizerischen Fokus eine internationale Perspektive. Auch nach 75 Jahren Forschung, Lehre und Beratung bleibt aber Gewässerschutz eine Daueraufgabe. Text: Andri Bryner

Das ungereinigte oder nur mechanisch geklärte Abwasser aus den wachsenden Siedlungen und industrielle Abwässer führten ab Anfang des 20. Jahrhunderts in den Schweizer Flüssen und Seen zunehmend zu katastrophalen Verhältnissen. Vor allem die Fischer begannen sich gegen die üblen Zustände zu wehren. Vehement forderten sie vom Bund Massnahmen gegen die zunehmende Verschmutzung.

Schweizer Abwasserfachleute gab es nicht. Fachleute für Planung und Bau von Kläranlagen gab es in der Schweiz vor dem Zweiten Weltkrieg kaum. Die wenigen Experten kamen aus Deutschland. Am 1. Januar 1936 gründete der Bundesrat daher die Beratungsstelle der ETH für Abwasserreinigung und Trinkwasserversorgung. Das Hygiene-Institut mit Willy von Gonzenbach (siehe Kasten Seite 5) und die 1930 ebenfalls neu gegründete

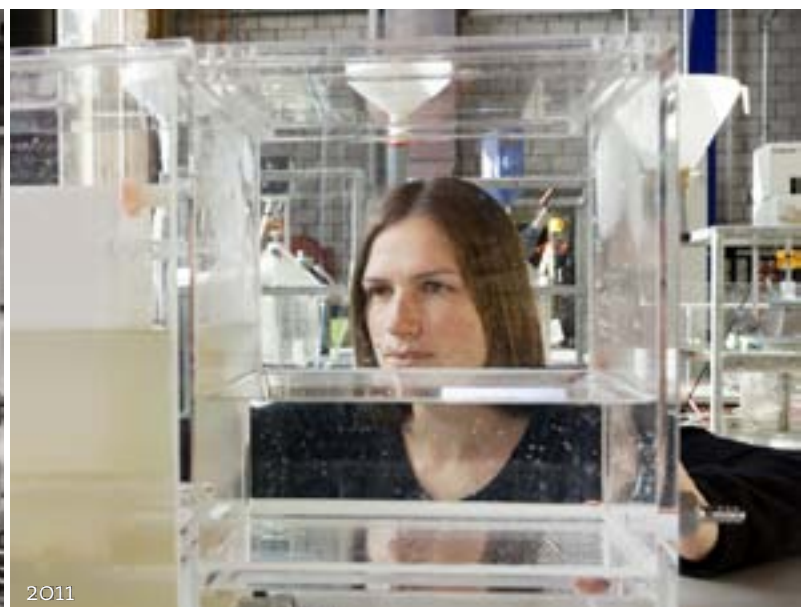
Versuchsanstalt für Wasserbau unter Leitung von Eugen Meyer-Peter waren die Träger der neuen Institution. Mit einem Chemiker, einem Ingenieur und einem Biologen als Mitarbeitenden starteten sie.

Im Zentrum des Auftrages standen nebst der Beratung von Kantonen und Gemeinden die Forschung und Ausbildung auf dem Gebiet der Abwassertechnik sowie die Überwachung der Gewässerqualität als Kontrolle für das Funktionieren der neuen Anlagen. Bereits 1938 richtete die Beratungsstelle auf dem Areal der stadt-zürcherischen Kläranlage Werdhölzli eine technische Versuchsanlage ein, wo Verfahren zur Abwasserreinigung und Versuche zur Selbstreinigungskraft der Gewässer entwickelt und getestet werden konnten. 1950 wurde diese Anlage auf die benachbarte Tüffenwies verlegt, 2001 dann auf das Areal in Dübendorf. Zu den frühen Eawag-Arbeiten zählten nicht nur die Versuche zur

Eawag-Labor und eine Versuchsanordnung. Messung der Radioaktivität in Flusswasserproben (links) und der Test einer Kunststoffmembran zur Entfernung von Viren und Bakterien aus dem Trinkwasser ohne Einsatz von Chemikalien oder Pumpenergie (rechts).



1955



2011

Stefan Kubli

biologischen Abwasserreinigung, sondern auch solche zur Entkeimung von Trinkwasser mit anderen Methoden als der unbeliebten Chlorzugabe, zum Beispiel mit Ozon, Silber oder UV-Strahlung.

Die ersten ganzheitlichen Konzepte. 1946 wurde aus der unterdessen auf 24 Mitarbeitende gewachsenen Beratungsstelle ein eigenes Institut, die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, abgekürzt Eawag. Zusätzlich zur Biologie- und Chemieabteilung entstanden Abteilungen für Grundwassergeologie und für Bautechnik. Erster Direktor war bis 1952 der Chemiker und engagierte Ornithologe Ulrich A. Corti. Obwohl sich die Arbeiten der Eawag vor allem auf die praktischen Bedürfnisse der Gemeinden und Kantone im baulichen Gewässerschutz ausrichteten, entwickelte Corti bereits langfristige, ökologisch orientierte Konzepte und verfasste Schriften über die Funktion der Gewässer als Lebensraum. Der Wert seiner Arbeiten wurde aber erst viel später erkannt.

Die Eawag macht Politik. 1952 übernahm Otto Jaag, der an der ETH Zürich neben spezieller Botanik auch Hydrobiologie und Limnologie unterrichtete, die Leitung der Eawag. Mit grossem persönlichem Einsatz hatte sich Jaag schon zuvor um die Einführung eines Gewässerschutzartikels in der Verfassung bemüht. Das Volk hat diesen Artikel dann 1953 mit einer denkwürdigen Mehrheit von 81,4 Prozent angenommen. Mit seiner Aufklärungsarbeit hat Jaag massgeblich zu diesem eindeutigen Bekenntnis des Schweizervolks zum Gewässerschutz beigetragen.

Der Einsatz war nötig, denn der steigende Konsum von Energie und Ressourcen nach dem Zweiten Weltkrieg blieb nicht ohne Folgen für die Gewässer. Umweltschutzämter gab es noch nicht. Noch 1960 waren kaum zehn Prozent der Bevölkerung einer zentralen Kläranlage angeschlossen. Bachufer verkamen zu Deponien, an Seen mussten Badeverbote verhängt werden. Jaag focht daher für eine Revision des zahnlosen Gewässerschutzgesetzes – insbesondere für eine aktivere Subventionspolitik. Diese folgte 1962 mit einem neuen Subventionsartikel und 1971 mit dem neuen Gesetz, das dem Kanalisations- und Kläranlagenbau zum Durchbruch verhalf. Heute werden in der Schweiz rund 97 Prozent aller Abwässer in modernen Kläranlagen gereinigt.

Kläranlagen allein genügen nicht. Ein vergleichbares Vollzugsvakuum entstand, nachdem 1975 eine neue Verfassungsbestimmung und 1991 dann das entsprechende Gesetz – nicht zuletzt aufgrund von Arbeiten an der Eawag – eine haushälterische Nutzung der Gewässer und angemessene Restwassermengen forderten. Zwar anerkannte der Bund damit, dass Kläranlagen und einigermaßen sauberes Wasser für einen ganzheitlichen Gewässerschutz nicht genügen. Doch der quantitative Gewässerschutz mit Gewässerrevitalisierungen und die Erhöhung von Restwassermengen kamen nur schleppend voran.

Mit der jüngsten Revision des Gewässerschutzgesetzes, die seit Anfang 2011 in Kraft ist, soll sich das nun ändern. Jetzt stehen mehr Mittel zur Verfügung und die Kantone sind verpflichtet, den Gewässern mehr Raum zu geben für eine möglichst naturnahe Entwicklung und die Sicherung des Hochwasserschutzes.

Spiegel des Gewässerschutzes

Die Entstehung der Eawag hat mehrere Vorgeschichten und spiegelt auch die Geschichte des Gewässerschutzes in der Schweiz. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts ist das Wissen über Ursprung und Verbreitung von Krankheiten rasant gewachsen. 1894 hat Otto Roth, ein Schüler des Tuberkulose-Entdeckers Robert Koch, an der ETH Zürich das Institut für Hygiene und Bakteriologie gegründet. Damals ging es in erster Linie um den «Schutz der menschlichen Arbeitskraft im Berufsleben vor Gefahren der Umwelt, Unfall und Vergiftungen akuter und chronischer Natur». Doch bereits Roths Nachfolger ab 1920, Willy von Gonzenbach, erkannte in der Verunreinigung von Flüssen und Seen eine Bedrohung für Natur und Mensch. 1887 hat ausserdem die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft eine limnologische Kommission gegründet mit dem Ziel, die Seen, ihre Funktion und ihre Fauna und Flora zu untersuchen.

Sauberes Quell- und Grundwasser sowie erste Aufbereitungsschritte mit Sandfiltern, ab 1910 auch mit Chlordesinfektion, haben in der Schweiz das Auftreten von Epidemien verhindert. Doch neue Leitungen in jeden Haushalt und neue sanitäre Einrichtungen liessen den Wasserverbrauch rasch ansteigen. Damit wuchs das Problem der Entsorgung. Sukzessive wurde daher die separate Sammlung von Fäkalabfällen in Kübeln abgelöst durch Schwemmkanalisationen. Das hat das Hygieneproblem in den Städten elegant gelöst, die sicht- und spürbare Gewässerverschmutzung aber beschleunigt. Denn die Abwässer wurden ungereinigt, später im besten Fall mechanisch geklärt, in die Bäche geleitet.

Mit Forschungsprojekten zu einem integralen Wassermanagement (zum Beispiel Rhone-Thur, 2005) und zur Bewertung von Gewässern (Modulstufenkonzept, ab 1981) oder zur Vermeidung diffuser Schadstoffeinträge hat die Eawag auch hier praxisnahe Grundlagen, Argumentarien und Verfahren zur Verfügung gestellt.

Auftragsarbeiten und Beratung. Bis in die 1960er-Jahre wurde ein Grossteil der Eawag-Arbeiten für Dritte ausgeführt, namentlich für Kantone und Gemeinden. Noch 1970 konnten von rund 3,4 Millionen Franken Aufwand 37 Prozent durch die Einnahmen aus Aufträgen gedeckt werden. Direktor Jaag beklagte darum in seinen Jahresberichten auch regelmässig die hohe Beanspruchung des Personals durch Aufträge unter Termindruck: «Was den Umfang der Arbeitsleistung der Anstalt anbetrifft, so kann festgestellt werden, dass auch im aufgelaufenen Jahr sämtliche

Mitarbeiter ohne Unterbruch bis zum Äussersten angespannt waren, ja, dass manche von ihnen Mühe hatten, die übernommenen Aufgaben mit der erforderlichen Sorgfalt termingerecht auszuführen.»

2010 deckten die «Diversen Erlöse» noch wenige Prozent der Gesamtausgaben von rund 60 Millionen Franken. Auftragsarbeiten werden nur noch übernommen, wenn damit auch interessante Forschungsfragen verbunden sind. Hingegen wurden für Forschungsprojekte rund 15 Millionen Franken an Zweit- und Drittmitteln akquiriert, etwa aus EU-Förderprogrammen oder von Stiftungen.

Engagement für Entwicklungsländer. Neben den vielen Auftragsprojekten entstanden aber natürlich auch unter Jaag grundlegende Forschungsarbeiten, zum Beispiel zur Überdüngung der Seen, zu chemischen und biologischen Prozessen im Grundwasser, zur Selbstreinigung von Gewässern oder zur Bemessung biologischer Kläranlagen. Die naturwissenschaftlichen Bereiche wurden 1960 gestärkt, als die Eawag von der Naturforschenden Gesellschaft Luzern das hydrobiologische Laboratorium in Kastanienbaum übernehmen konnte (siehe Kasten Seite 7). 1968 entstand an der Eawag ausserdem das International Reference Centre for Waste Disposal der WHO – daraus ging 1992 die Abteilung für Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern hervor.

Nach diversen gescheiterten Neubauprojekten und einer wahren Odyssee im Zürcher Hochschulquartier – die Eawag war

zusätzlich zum Standort Kastanienbaum und der Versuchsanlage Tüffenwies zeitweise an sieben Adressen untergebracht – konnte 1970 der Neubau in Dübendorf bezogen werden. Inzwischen umfasste das Institut acht Abteilungen und 110 Mitarbeitende. Zur Biologie, Chemie, der Geologie und dem Ingenieurwesen waren folgende Abteilungen dazugekommen: Limnologie (1952), Feste Abfälle (1955), Radiologie (1956), Fischereiwissenschaften (1969). Ebenfalls 1970 wurde die Eawag zur Annexanstalt der ETH Zürich, 1993 schliesslich zum selbstständigen Wasserforschungsinstitut im ETH-Bereich.

Näher an die ETH Zürich. Trotz des Umbaus zur Annexanstalt führte Direktor Werner Stumm, ein Chemiker, die Eawag ab 1970 wieder näher an die ETH und andere Hochschulen heran. Er lancierte ein Nachdiplomstudium für Siedlungswasserbau und Gewässerschutz (1979) und war 1987 Mitbegründer des Studiengangs für Umweltwissenschaften, ganz nach dem Grundsatz, dass eine gute Ausbildung von Wasserfachleuten die nachhaltigste Beratung bietet. Mit einer Gruppe von jungen Wissenschaftlern, die er aktiv an die Eawag holte, brachte er frischen Wind.

Einer aus dieser Gruppe ist der Physiker Dieter Imboden, aktuell Präsident des Nationalen Forschungsrates. Unter den Erfolgsfaktoren der Eawag für die Zeit ab 1970 erwähnt Imboden übereinstimmend mit Ueli Bundi (siehe Interview Seite 10) die Konzentration auf ein multidisziplinär abgestütztes System- und Prozessverständnis anstelle eines Diktats der Forschungsfragen

Experimentieranlage zur biologischen Selbstreinigung von Flüssen mit künstlichen Fliessrinnen in der Zürcher Tüffenwies (links) und zur Schlammbehandlung in der Versuchshalle in Dübendorf (rechts) für die Verbesserung der Stickstoffelimination und Reduktion des Energieverbrauchs von Kläranlagen.



1950



2011

Stefan Kubli



1940



2010

Monika Estermann

Das Seenlabor in Kastanienbaum noch vor der Übernahme durch die Eawag (links) und eine Anlage mit Mikrokosmen für evolutionsbiologische Langzeitexperimente (rechts).

Kastanienbaum: Vom Seenlabor zum Zentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie

1916 gründete die Naturforschende Gesellschaft Luzern mit Hilfe von privaten Gönnern das Hydrobiologische Laboratorium Kastanienbaum am Vierwaldstättersee. Treibende Kräfte waren der Arzt Fritz Schwyzer und der Kantonschullehrer Hans Bachmann, der bis 1940 die Hydrobiologische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft leitete. Viele in- und ausländische Spezialisten nutzten das kleine Labor für Studien und Kurse über die Chemie, das Plankton, die Wasserpflanzen und die Fische des Vierwaldstättersees und anderer Gewässer.

Schon 1920 erschien ausgehend von den Arbeiten in Kastanienbaum die Zeitschrift für Hydrologie, die 1989 zum renommierten Aquatic Sciences geworden ist und noch heute mit massgeblicher Unterstützung der Eawag herausgegeben wird. Seit 1960 steht das Forschungszentrum für Limnologie (FZL) unter Obhut der Eawag. 1968 erweiterten der Kauf der Liegenschaft Seeheim und 1976 ein Neubau das Raumangebot. Heute arbeiten über 100 Personen in Kastanienbaum – aus dem FZL ist das Kompetenzzentrum für Ökologie, Evolution und Biogeochemie (CEEB) geworden. Erforscht wurden und werden in «KB», wie der Aussenstandort intern genannt wird, vor allem die chemischen, physikalischen und biologischen

Vorgänge im Vierwaldstättersee und anderen Schweizer Seen. So wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen über die Bedeutung der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff und ihrer Umsetzungsprozesse für die Überdüngung der Seen. Untersuchungen am Plankton, an Sedimenten und an Bodenorganismen dokumentierten die fortschreitende Verschlechterung des Seezustandes in den 1960er- und 1970er-Jahren, aber dann auch die Verbesserungen, nachdem die Phosphorelimination in den Kläranlagen und Ringkanalisationen Wirkung gezeigt hatten. In multidisziplinären Projekten wurde die Funktion komplexer Umweltsysteme untersucht, zum Beispiel der Nutzen künstlicher Zirkulationshilfen für die Seesanieung oder die Auswirkung von Schwermetallen.

Im Bereich Fischereibiologie verschob sich der Fokus von einer möglichst ertragreichen Bewirtschaftung der Seen zunehmend zu Arbeiten, welche die Erhaltung der Arten- und Lebensraumvielfalt in allen Gewässertypen zum Ziel haben. Im Zentrum stehen Fragen zur Anpassungsfähigkeit von Arten und Ökosystemen in einer Umwelt, die sich laufend verändert. Vereinfacht gesagt: vom akuten Fischsterben in den 1970er-Jahren zum dauernden Werden und Vergehen von Arten in Evolutionsprozessen.

durch Detailprobleme. Unterstützt wurde dieser Weg von mathematischen Modellen, die dank leistungsfähiger Informatik immer präzisere Analysen und Vorhersagen erlauben, zum Beispiel von seeinternen Mischungsvorgängen.

Imboden führt zudem die hervorragende Analytik an der Eawag an: Sie habe immer wieder ermöglicht, dass von neuen Stoffen verursachte Probleme frühzeitig erkannt und eingeordnet

werden konnten. Als prägend für die Zeit unter Stumm kann auch die verstärkte Internationalisierung angeführt werden. Zum einen hat diese Entwicklung den Eawag-Mitarbeitenden berufliche Perspektiven in aller Welt eröffnet, zum anderen sichert das bis heute laufend ausgebaute Netzwerk Forschungsk Kooperationen in Bereichen, in denen die Eawag selbst weniger Kompetenzen vorweisen kann, zum Beispiel zu Fragen der effizienten Wassernut-

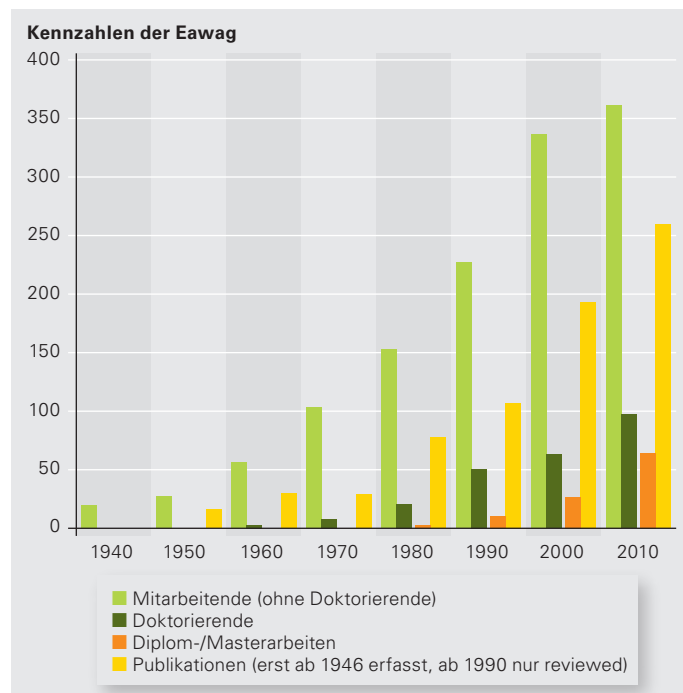
Professoren an der Eawag (wo nicht anders erwähnt alle ETH Zürich, Titularprofessoren siehe Seite 13)

	an der Eawag	Professur für
Willy von Gonzenbach	1936–1945	Hygiene und Bakteriologie
Eugen Meyer-Peter	1936–1945	Wasserbau
Otto Jaag	1952–1970	Hydrobiologie, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
Arnold Hörler	1954–1968	Kanalisationen, Abwasserreinigung und Siedlungswasserbau
Karl Wuhrmann	1946–1980	Mikrobiologie
Rudolf Braun	1955–1983	Abfallbeseitigung
Kurt Grob	1974–1985	Hochauflösende Gaschromatografie (Kantonsschule Zürich)
Werner Stumm	1952–1992	Gewässerschutz
Heinz Ambühl	1952–1994	Hydrobiologie (a. o.)
Jürg Hoigné	1974–1995	Aquatische Chemie
Richard Heierli	1968–1970	Siedlungswasserbau (a. o.)
Geoffrey Hamer	1980–1992	Technische Biologie
Peter Baccini	1974–2004	Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik
James Ward	1995–2002	Aquatische Ökologie
Dieter Imboden	1988–1999	Umweltphysik
René Schwarzenbach	1977–2004	Umweltchemie
Alexander Zehnder	1992–2004	Umweltbiotechnologie
Willi Gujer	1992–2011	Siedlungswasserwirtschaft
Bernhard Wehrli	seit 1988	Aquatische Chemie
Urs von Gunten	seit 1989	Trinkwasseraufbereitung (EPFL) und Titularprofessor (ETHZ)
Jukka Jokela	seit 2005	Aquatische Ökologie
Ole Seehausen	seit 2005	Aquatische Ökologie und Evolution (Uni BE)
Martin Ackermann	seit 2006	Molekulare mikrobielle Ökologie (a. o.)
Janet Hering	seit 2007	Umweltbiogeochemie (ETHZ) Umweltchemie (EPFL)
Eberhard Morgenroth	seit 2009	Siedlungswasserwirtschaft

zung in der Landwirtschaft, der Auswirkungen des Klimawandels oder der Reinigung industrieller Abwässer.

Neben der Abfallproblematik begann sich die Eawag mit weiteren unkontrollierbaren Verunreinigungsquellen zu befassen wie Abschwemmungen von Strassen und Dächern, Überläufen aus Kanalisationen oder Pestiziden aus der Landwirtschaft.

Gesellschaft und Wirtschaft mehr einbeziehen. 1992 übernahm der Biochemiker Alexander Zehnder die Eawag, die ab 1993 zur selbstständigen Institution im ETH-Bereich wurde. Er ergänzte die natur- und ingenieurwissenschaftlichen Aktivitäten mit einer Gruppe für Humanökologie, da gesellschaftliche Prozesse das Mass (oder Übermass) der Umweltbeanspruchung sehr stark bestimmen. Das Verständnis dieser Prozesse oder sogar ihre Steuerung sind unabdingbar für einen Übergang zu umweltfreundlichen Wirtschafts- und Lebensformen. 2005 entstand vor diesem Hintergrund die Abteilung für sozialwissenschaftliche Innovations-



Aktuell belegen die insgesamt 458 Mitarbeitenden (inkl. 26 Lernende) 413 Vollzeitstellen, der Anteil der Frauen beträgt 48,4 Prozent.

forschung. Nachhaltigkeit und transdisziplinäres Arbeiten wurden unter Zehnder stark gefördert. Mit Greenhydro (umweltgerechte Wasserkraftnutzung, Abschluss 2000), Fischnetz (Fischrückgang in der Schweiz, 2003), Rhone-Thur (nachhaltiger Umgang mit Fließgewässern, 2005) und Novaquatis (Urinseparierung, 2006) wurden mit Partnern aus Verwaltung, Privatwirtschaft und Forschung grosse Projekte vorangetrieben oder abgeschlossen.

Als Zehnder im Sommer 2004 zum Präsidenten des ETH-Rats gewählt wurde, übernahm sein Stellvertreter, Kulturingenieur Ueli Bundi, interimistisch die Leitung des Instituts. Bundi betonte insbesondere die Brückenfunktion der Eawag zwischen Hochschule und Praxis. 2004 gründete er zusammen mit dem Fischereiverband und dem Bundesamt für Umwelt die Fischereiberatungsstelle Fiber, lancierte 2007 die Wasser-Agenda 21 für eine ganzheitliche Sicht in der Schweizer Wasserwirtschaft und unterstützte die Vorbereitungen für das Ökotoxzentrum. Zusammen mit Roland Schertenleib und dem Architektenteam von Bob Gysin und Partner gehört Bundi zudem zu den Vätern des Eawag/Empa-Neubaus Forum Chriesbach, der für seine innovativen Konzepte mehrere Preise gewann.

Spitzenforschung und Umsetzung keine Widersprüche. Ab 2007 trieb Janet Hering die Kooperationen mit der ETH Lausanne und der ETH Zürich voran. Als Vertreterin der vier Forschungsanstalten im ETH-Rat (bis 2010) erkannte sie sehr genau, wie wichtig eine hervorragende Forschung für die Eawag trotz aller Praxisnähe ist, um gegenüber den ungleich grösseren Hochschulen nicht unterzugehen. Die evolutionäre aquatische Ökologie, Analytik und Ökotoxikologie von Mikroschadstoffen und ihren Um-



1940



2010

Planktonprobenahme im Vierwaldstättersee (links) und Aufnahmen zur Beschreibung der Strukturvielfalt an der Sense im Rahmen der von der Eawag entwickelten Fließgewässerbewertung (rechts).

wandlungsprodukten sowie deren Entfernung aus dem Abwasser sind Lücken, die zu füllen die Eawag prädestiniert ist.

Das Beispiel der Mikroschadstoffe zeigt auch gut auf, dass Spitzenforschung und umsetzungsnahe Konzepte gleichzeitig vorangetrieben werden können und müssen. So haben die Arbeiten der Eawag wesentlich dazu beigetragen, dass der Bund 2010 eine Änderung der Gewässerschutzverordnung vorbereitet hat, welche die Entfernung von Spurenstoffen in ausgewählten Kläranlagen vorsieht.

Die Forderung nach Cleantech passt. Das Credo der Eawag, Wasser für die Gesundheit der Menschen und Schutz des Wassers für die Gesundheit der Ökosysteme, gewinnt unter dem Stichwort Cleantech zunehmend an Bedeutung. So zielen zum Beispiel aktuelle Projekte in der Abwasserreinigung nicht mehr allein darauf ab, möglichst alle Schad- und Nährstoffe aus dem Abwasser zu entfernen, sondern es werden Wege gesucht, dies mit möglichst wenig Energie, wenig Emissionen und unter Rückgewinnung von Wertstoffen (siehe Artikel Seite 30) zu bewerkstelligen.

Ausserdem wurde in den Eawag-Projekten seit je darauf geachtet, dass nicht das eine Problem gelöst wird, jedoch damit neue Probleme generiert werden. Beispiele für dieses Vorgehen sind die Experimente zur Auswirkung der Ersatzstoffe EDTA und NTA, als es in den 1980er-Jahren um das Verbot von Phosphat in Textilwaschmitteln ging oder um das Vermeiden von gesundheits-schädigenden Chloraminen in der Trinkwasserdesinfektion oder in jüngerer Zeit um den Ersatz von Tierversuchen in der Ökotoxikologie mit Passivsammlern oder Computermodellen.

Die Erkenntnisse aus solchen vorausschauenden Forschungsvorhaben fließen immer auch in die Beratung ein, denn dafür stehen in der Privatwirtschaft oft weder Know-how noch die nötigen Versuchsanlagen noch Zeit und Mittel zur Verfügung. Mit dem weiteren Auf- und Ausbau des Zentrums für angewandte Ökotoxikologie (zusammen mit der EPFL) oder mit der Gründung des Kompetenzzentrums für Trinkwasser wurde diese Beratung in den letzten Jahren zusätzlich gestärkt. ○ ○ ○

Weitere Informationen

www.eawag.ch/about/75jahre

Bryner A., Nast M. (2011): Streiflichter auf die Eawag 1936–2011 (in d, f, e), Eawag.

Alle Jahresberichte ab 1946 auf lib4ri.ch > Institutional Bibliography.

Perret P. (2001): Beitrag zur Geschichte der Gewässerforschung in der Schweiz, <http://chy.scnatweb.ch/downloads/GeschichteGewasserforschungCH.pdf>

Mitteilungen der Eawag Nr. 22, 1986 (zum 50-Jahr-Jubiläum).

Boller M. (2005): Eawag – Forschung im Dienste des Wassers (zum 60-Jahr-Jubiläum), Gas, Wasser, Abwasser (GWA) 3, 191–202.

Müller R. (1997): Ein Blick zurück – Das Eawag-Forschungszentrum für Limnologie in Kastanienbaum, Eawag.

Argumente liefern und Zusammenhänge aufzeigen

Kulturingenieur Ueli Bundi hat die Eawag nach aussen und innen über lange Zeit wesentlich mitgeprägt. Er kam 1972 ans WHO International Reference Centre for Waste Disposal, das an der Eawag angesiedelt war. Ab 1990 war er Mitglied der Direktion, ab 2000 als stellvertretender und von 2004 bis 2006 als Interims-Direktor. Aktuell ist Ueli Bundi Mitglied der Leitungsgruppe des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Wassernutzung». Ein Blick zurück.

Interview: Andri Bryner

Ueli, du warst über 35 Jahre an der Eawag. Was nimmst du davon mit auf die einsame Insel? Einsam ist die Insel nicht. Ich habe an der Eawag viele Freundschaften geschlossen, die auf einer gemeinsamen Leidenschaft für das Wasser gründen. Das ist zwar etwas Persönliches, aber es hat dazu beigetragen, dass wir es immer geschafft haben, ein Klima zu erhalten, das sehr motiviertes und innovatives Arbeiten für die Sache mit hoher Qualität erlaubt hat.

Die Chronisten sprechen vom Aufbruch unter Direktor Werner Stumm. Ist 1970 eine neue Zeit angebrochen? Stumm hat die enormen Verdienste seines Vorgängers Jaag nie infrage gestellt. Er erkannte aber, dass die Zeit für neue Impulse reif war. Er propagierte die Intellektualisierung des Gewässerschutzes und damit verbunden ein neues Rollenverständnis der Eawag. Er sah sie als wissenschaftlich starke Anwältin der Gewässer und forderte ihre verstärkte Internationalisierung und Zuwendung zur Hochschule.

Waren die Direktoren Jaag, Stumm und Zehnder die Einzigen, welche die Eawag geprägt haben? Die Eawag hatte Glück, dass sie von A bis Z hervorragende und langjährige Direktoren hatte. Das ist ein wichtiger Erfolgsfaktor, aber ebenso wichtig in all den Jahren waren viele hoch motivierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Prägungen im wissenschaftlichen Bereich können oft an Publikationen und im Umsetzungsbereich an der Anerkennung durch die Praxis abgelesen werden. Im Support ist das schwieriger. Ich weiss nicht, wie Stumm ohne seinen Stellvertreter Hannes Wasmer die Eawag hätte führen können. Oder man stelle sich heute einmal eine Eawag ohne gut funktionierende Informatik vor. Oder die Kinderkrippe: Ohne die Aufbauarbeit von Arianne Maniglia hätte das niemals geklappt. Weiterbildung und Umweltkonzept hätten nicht die Qualität und Kontinuität ohne Herbert Güttinger. Das sind nur Beispiele, eine Liste wäre nie vollständig.

Was waren vom Fachlichen her persönliche Höhepunkte? Erwähnen möchte ich die in den 1980er-Jahren gebildete in-

terdisziplinäre Gruppe Fließgewässerökologie, mit der wir uns schon früh mit dem quantitativen Gewässerschutz auseinandersetzten. Das waren wichtige Vorarbeiten für das 1992 revidierte Gewässerschutzgesetz und später für die fundierte Bewertung des Fließgewässerzustandes. Oder ein transdisziplinäres Team «Stickstoffhaushalt Schweiz», zusammengesetzt aus Forschenden von Hochschulen, Forschungsanstalten sowie Vertretern privater Büros, des Bafu, BLW und Bauernverbandes. Hier erarbeiteten wir um 1995 die Basis für nationale Stickstoffstrategien. Viel Enthusiasmus und Durchhaltevermögen haben wir dann auch benötigt, um den ökologisch vorbildlichen Neubau Forum Chriesbach durchzubringen. Die

Eawag hat damit ein klares Signal gesetzt, dass sie als Umweltforschungsinstitut nicht Wasser predigt, selbst aber Wein trinkt.

Wo hat die Eawag Leerlauf produziert? Leerlauf würde ich nicht sagen, aber es gab Vorhaben, in denen wir Lehrgeld bezahlen mussten. Für den Aufbau der Sozialwissenschaften und der Ökotoxikologie haben wir mehrere Anläufe benötigt. Oder die Anfang der 1990er-Jahre neu gesetzten Forschungsschwerpunkte. Da hat man sehr viel von der inter- und transdisziplinären Zusammenarbeit erwartet. Ehrlicherweise muss man heute sagen, dass



diese Grossprojekte – zum Beispiel zu einem integralen Wasser-
management an der Töss – nicht so erfolgreich gewesen sind.

Warum sind solche Querschnittprojekte denn so schwierig anzupacken? Wir haben die Komplexität von vernetzten Vorhaben unterschätzt. Zudem sind die Forscherinnen und Forscher vor allem gefordert, sich in ihren spezifischen Disziplinen zu profilieren. Die Fördermechanismen in der Wissenschaft sind immer noch primär disziplinär. Die Eawag hat aber gelernt, transdisziplinäre Vorhaben professioneller einzufädeln. Das ist späteren Projekten, zum Beispiel Ökostrom oder Fischnetz, zugutegekommen. Vor allem wurden auch Türen geöffnet: Wo Gräben waren, zum Beispiel zwischen Wasserbau und Gewässerschutz, existiert heute eine konstruktive Zusammenarbeit, etwa mit dem Laboratoire de constructions hydrauliques an der EPFL. Die Forschungsanstalten sind für inter- und transdisziplinäres Arbeiten prädestiniert. Darum tragen sie hier eine besondere Verantwortung.

Was hat sich sonst verändert? Von den vielen guten Veränderungen möchte ich die enorm gesteigerte Präsenz der Frauen hervorheben. Früher war die Wasserforschung männerdominiert. Eher heiter ist der Gedanke an die Zeit, als überall noch geraucht werden durfte. Weil in der «technischen Konferenz» überwiegend Raucher sassen, wurden alle Anträge auf Rauchverbote abgeschmettert. Das ist heute unvorstellbar.

Worauf gründet der Erfolg der Eawag? Sicher im Fokus aufs Wasser, in der Kontinuität und in immer wieder hervorragenden Leuten. Seit Stumms Zeit ist die Forderung zentral, Prozesse zu verstehen, statt sich in einzelnen, tagesaktuellen Problemen zu verlieren. Die verstärkte Anbindung an die Hochschulen brachte mehr wissenschaftliche Reputation und Zugang zu gutem Nachwuchs. Das Dritte ist die internationale Verflechtung. Dank Stumms und Zehnders weltweitem Renommee und ihren Netzwerken standen Eawag-Leuten alle Türen an den besten Instituten offen.

Auch die Auseinandersetzung mit umfassenden Gewässerschutz- und Wassernutzungskonzeptionen sehe ich als Erfolgsfaktor. Wir entwickelten dazu bis 1980 die Studie Gewässerschutz 2000. Denn schon 1972 erkannte man, dass der Bau von Kläranlagen allein keinen ausreichenden Gewässerschutz bringt.

Sind die Ziele heute, 30 Jahre nach Erscheinen der Studie, erreicht? Der Gewässerschutz hat in der Schweiz grosse Fortschritte gemacht, zum Beispiel was die Überdüngung der Seen, technische Massnahmen in der Industrie oder eine einzugsgebietsbezogene Sichtweise betrifft. Aber viele Erfolge werden vom Wachstum und von immer neuen Stoffen relativiert. Bei den Chemikalien liegt der Fokus seit über 30 Jahren auf rein naturwissenschaftlichen Konzepten; der Aufwand zum Nachweis von Stoffen und ihrer ökotoxikologischen Wirkungen wird immer grösser. Es mangelt an überzeugenden Konzepten zur vorsorglichen Problemvermeidung. Die Steuerung der Chemikalienproduktion



und -verwendung sollte verstärkt nach ethischen Überlegungen erfolgen. Stattdessen meint man heute, die Probleme seien mit «End of pipe»-Massnahmen in den Griff zu kriegen – im Fall der Chemikalien mit deren Entfernung in der Kläranlage.

Was ist denn so schlecht an Lösungen in der Kläranlage? Ich sage nicht, dass Massnahmen in der Kläranlage unnötig sind. Aber wir müssen aufpassen, dass nicht der Eindruck entsteht: «Problem gelöst – wir brauchen nichts mehr zu tun.» Auch die modernste Kläranlage eliminiert nie alle Schadstoffe. Zudem gelangen Chemikalien und Schwermetalle auf unterschiedlichsten Wegen in die Umwelt, nicht nur über das Abwasser.

Millionen haben ungenügende sanitäre Verhältnisse und keinen Zugang zu Trinkwasser. Derweil analysiert die Eawag Spurenstoffe im Nanogrammbereich. Forscht das Institut an den wahren Wasserproblemen vorbei? Diese Frage stellt sich für mich nicht. Einerseits engagiert sich die Eawag mit der Abteilung Sandec für die Lösung von Wasserproblemen in Entwicklungs- und Schwellenländern. Andererseits ist die Wasserchemie traditionell stark an der Eawag und diese Stärke soll man bewahren. Das gilt auch für andere Gebiete, die in der Schweiz nur an der Eawag breit verankert sind, insbesondere die Gewässerökologie und die Wasseraufbereitung.

Oft zitiert wird Otto Jaags erfolgreicher Einsatz auf dem politischen Parkett. Ist die

Eawag heute apolitisch? Wir haben immer wieder aktiv auf die Politik eingewirkt; schlicht, weil wir aufzeigten, welche Weichenstellungen eigentlich nötig und wie sie zu bewerkstelligen wären. Zum Beispiel mit der Studie von 1974 zur Entwicklung der Phosphorbelastung des Greifensees. Für solche Aussagen wurden wir prompt heftig kritisiert. Behörden und Fachverbände empfanden sie als Einmischung. Heute ist das Netz zur Verwaltung geknüpft, die Kontakte zu den anderen Akteuren im Bereich Wasser sind besser geworden. Dieses dauernde «capacity building» ist wichtiger als alles andere. Die Eawag muss – unabhängig von partikulären Nutzungsinteressen – die Zusammenhänge rund ums Wasser aufzeigen: welche ökologischen Dienstleistungen vom Wasser abhängen, wie Wasser in die Gesellschaft hinein wirkt und warum wir immer auf gewisse Qualitäten der Gewässer angewiesen sein werden, zum Beispiel für sauberes Trinkwasser, Wasser für die Landwirtschaft oder für eine vielfältige, lebenswerte Landschaft. In diesem Bemühen auf wissenschaftlich hohem Niveau liegt auch historisch die «raison d'être» der Eawag begründet. ○ ○ ○

Den Wert der Ressource Wasser immer besser erkennen

Janet Hering ist seit 2007 Direktorin der Eawag, Professorin für Umwelt-Biogeochemie an der ETH Zürich und seit 2010 für Umweltchemie an der ETH Lausanne. Wie sie ihren Grundsatz «Wasser für die Gesundheit der Menschen und Schutz des Wassers für die Gesundheit der Ökosysteme» mit der Eawag umsetzt, erläutert sie im Gespräch.

Interview: Andri Bryner

Janet, du bist nun schon über vier Jahre Eawag-Direktorin.

Was hast du in dieser Zeit verändert? Als ich mich entschieden habe, an die Eawag zu kommen, hat gerade die Tatsache, dass keine riesigen Änderungen nötig waren, den Schritt für mich attraktiv gemacht. Die Eawag war und ist weltweit anerkannt für ihre hervorragende Forschung und Infrastruktur. Weil das Niveau schon so hoch war, konnte ich mich auf strategische Fragen konzentrieren, sowie darauf, wie Synergien gesteigert, unser Verständnis aquatischer Systeme weiter verbessert werden und wie wir uns mit den entscheidenden Fragen der Gesellschaft auseinandersetzen können. Ich hoffe, dass ich damit geholfen habe, dass sowohl die Eawag als Ganzes als auch die einzelnen Forschenden Prioritäten setzen und Ressourcen entsprechend nutzen können.

Besonders freut es mich, dass wir immer wieder hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Abteilungsleitende gewinnen und zusammen mit der ETH Zürich und der EPFL Professuren einrichten konnten. Denn es sind die Forschenden, besonders auf dem Senior-Level, welche die Eawag erfolgreich vorantreiben. Wir haben aber auch bestqualifizierte Leute in den Supportabteilungen, was für den Erfolg des ganzen Unternehmens ebenso wichtig ist. Hervorheben möchte ich das Zentrum für angewandte Ökotoxikologie, das wir zusammen mit der EPFL aufgebaut haben. Es entspricht einem Auftrag des Parlaments und meiner Ansicht nach setzen wir diesen Auftrag – zusammen mit unseren Kollegen in Lausanne – sehr erfolgreich um.

Was hat sich im Umfeld verändert? Wie jede Institution muss auch die Eawag auf Veränderungen reagieren, wenn sie erfolgreich bleiben will. Einige sind Chancen, namentlich die wachsenden Möglichkeiten für internationale Zusammenarbeit, zum Beispiel in EU-Programmen mit den neuen Mitgliedsländern. Das offene Feld macht das Setzen von Prioritäten umso wichtiger. Ausserdem müssen wir unseren nationalen Fokus sorgfältig aufrechterhalten. Leider ist mit dem wachsenden Engagement in EU-Programmen auch die Bürokratie gewachsen. Ich verlange von meinen Kolleginnen und Kollegen an der Eawag zwar ebenfalls Rechenschaft, aber ich finde, dass das in einem Klima von

gemeinsamen Zielen und gemeinsamer Motivation ablaufen soll und nicht in einem Kontrollapparat.

Was bereitet dir Kopferbrechen? Ich bin etwas erstaunt, dass die hervorragende Position der Eawag offensichtlich nicht von allen Mitarbeitenden erkannt wird und wir unsere Vorteile noch nicht immer voll ausnutzen. Anders als ihre Kollegen in den meisten anderen Ländern müssen Eawag-Forschende nämlich ihre Agenda kaum einschränken, weil sich keine externen Mittel auf-treiben lassen. Natürlich ist eine externe Forschungsfinanzierung immer zu prüfen, aber wir haben auch eigene Ressourcen. Sie erlauben es, unsere eigene Agenda zu setzen. Diese kann innovativer, mehr inter- und transdisziplinär und ehrgeiziger sein, als dies von externen Geldgebern möglicherweise akzeptiert würde.

Bist du als Amerikanerin unterdessen vertraut mit der Schweiz? Ich denke, dass ich begonnen habe, das Schweizer Forschungs- und Bildungssystem und seine Voraussetzungen zu verstehen. Vor allem sehe ich die Bedeutung

von persönlichen Netzwerken und bin daran, mein eigenes Netz aufzubauen. Natürlich bin ich auch auf die Beziehungen meiner Eawag-Kollegen angewiesen, insbesondere jene aus der Direktion und die Abteilungsleitenden. Ich hoffe, dass ich zugunsten der Eawag schon nützliche Kontakte geknüpft habe, auch wenn meine Art manchmal wohl etwas unkonventionell ist.

Die Schweizer Seen und Flüsse sind sauber. Braucht es die Eawag überhaupt noch? Die Forschung der letzten 30 Jahre hat unser Wissen über den Wasserhaushalt ausserordentlich erweitert. Erfreulicherweise konnten viele Probleme, zum Beispiel die Überdüngung der Gewässer, zumindest in industrialisierten Ländern gelöst werden. Doch bleiben auch in der Schweiz noch viele offene Fragen: Warum schwinden die einheimischen Fischbestände? Welches sind optimale Strategien zur Abwasserreinigung oder Massnahmen zur Wiederherstellung naturnaher Flusssituationen? Besonderes Augenmerk richten wir auf die Auswirkung von Mikroverunreinigungen im Wasser.

Auch im Schweizer Gewässerschutz gibt es viele offene Fragen, die wir zusammen mit der Praxis angehen müssen.

Noch drängender sind die Fragen in Trockenregionen von Entwicklungs- und Schwellenländern. Dort leiden die Menschen direkt unter Wassermangel und schlechter Wasserqualität. Die fortschreitende Umweltzerstörung führt dazu, dass Gewässerökosysteme ihre Dienstleistungen nicht mehr ausreichend erbringen können, also etwa der Fischfang oder die Selbstreinigungskraft eines Flusses zusammenbrechen. Für die Forschung ist das Chance und Aufforderung zugleich. Denn sie kann die Lebensqualität der Bevölkerung gewaltig verbessern.



Was kann die Direktorin tun, damit diese Ziele erreicht werden? Als Direktorin habe ich das Privileg, eine grosse Gruppe hochtalentierter Forschender und Berufsleute zu führen, die mit grossem Einsatz an diesen Herausforderungen arbeitet. Ich unterstütze ihre Aktivitäten, indem ich mich dafür einsetze, dass ihre Forschungsumgebung erhalten und gestärkt wird. Zudem hoffe ich, dass wir national und international noch mehr mit anderen zusammenarbeiten können. Länder wie China oder Indien, die sich zurzeit rasant entwickeln, bieten ausgezeichnete Möglichkeiten für die Anwendung von Schweizer Forschungsergebnissen und für den Technologieexport. Eawag-Forschende sind seit jeher von Ämtern und der Industrie als Experten geschätzt. Mit dem Ökotoxzentrum und dem Kompetenzzentrum für Trinkwasser haben wir das verstärkt.

Wie läuft dieser Wissenstransfer in die Praxis? Indem die Forschenden direkt mit der Praxis zusammenarbeiten, zum Beispiel mit Wasserversorgern, Betreibern von Abwasserreinigungsanlagen, Ingenieurbüros oder Herstellern von Chemikalien und Geräten. Für Erfindungen und Spin-offs haben wir intern eine eigene Anlaufstelle, die sich unter anderem um den Patentschutz kümmert. Wissenstransfer findet aber auch in der Lehre statt, wo viele Eawag-Mitarbeitende tätig sind, sei es an der ETH Lausanne, ETH Zürich, an Universitäten oder an Fachhochschulen. Seit 2008 bieten wir ein Schulungsprogramm an für Doktorierende aus Entwicklungsländern. Regelmässig organisieren wir öffentliche Veranstaltungen wie den Eawag-Infotag und geben Publikationen heraus. Und nicht zuletzt bringt die Eawag ihr Know-how ein, wenn es um gesetzliche Regelungen geht, zum Beispiel bei der Frage nach Grenzwerten für Chemikalien.

Du arbeitest zurzeit an der strategischen Planung der Eawag für die Periode 2012 bis 2016. Welches sind die Eckpfeiler? Wir wollen bestehende Stärken in Forschung, Lehre und Beratung erhalten und stärken und zwar im ganzen Spannungsbogen vom disziplinären Bereich bis zu inter- und transdisziplinären Vorhaben. Zudem ist es das Ziel, die Kooperationen im ETH-Bereich und mit den kantonalen Universitäten auszubauen und am Ball zu bleiben beim Aufbau von internationalen Partnerschaften sowie weiterhin optimale Bedingungen zu schaffen, damit die Eawag national und international für hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler attraktiv ist. Daneben gilt es, die Zusammenarbeit mit der Praxis weiterzuentwickeln, insbesondere

durch Weiterbildung und Beratung, wie mit dem Zentrum für angewandte Ökotoxikologie oder dem Kompetenzzentrum Trinkwasser. In Natur-, Sozial- und Ingenieurwissenschaften wollen wir die Basis legen, um dem Bedarf der Menschen nach Wasser gerecht zu werden und gleichzeitig die aquatische Umwelt und ihre unverzichtbaren Dienstleistungen zu erhalten, also kurz: Wasser für die Gesundheit der Menschen und Schutz des Wassers für die Gesundheit der Ökosysteme.

Was heisst das für die Zukunft des Wassers? Dass Wasser für die Menschen viele direkte Nutzen bringt, weiss die Gesellschaft längst, aber erst in jüngerer Zeit werden auch die Ökosystemdienstleistungen der aquatischen Umwelt anerkannt. Ich bin optimistisch, dass wir den Wert der Ressource Wasser und die Bedeutung ihres Schutzes zunehmend erkennen. Wir müssen technische Innovationen und gesellschaftliche Veränderungen in einer Art fördern, dass der zum grössten Teil vom Menschen verursachte Druck auf das Wasser reduziert wird, ohne dass gleichzeitig Wohlfahrt oder Gesundheit infrage gestellt werden. Ich hoffe, dass die Eawag weiterhin ganz vorne an dieser Herausforderung mitarbeitet. ○○○

Titular-, Assistenz- und Forschungsprofessuren an der Eawag
(ordentliche Professuren siehe Seite 8)

	Bereich	Hochschule
Flavio Anselmetti	Sedimentologie	ETH Zürich
Jürg Beer	Biogeochemie/ Schadstoffdynamik	ETH Zürich
Rik Eggen	Umwelttoxikologie	ETH Zürich
Thomas Egli	Umweltmikrobiologie	ETH Zürich
Juliane Hollender	Umweltchemie	RWTH Aachen, ETH Zürich
Rolf Kipfer	Trinkwasser/ Wasserressourcen	ETH Zürich
Hans-Joachim Mosler	Sozial- und Umwelt- psychologie	Universität Zürich
Peter Reichert	Systemanalyse/ Modellierung	ETH Zürich
Kristin Schirmer	Umwelttoxikologie	ETH Lausanne; Univer- sity Waterloo, Kanada
Mario Schirmer	Hydrogeologie	Universität Neuchâtel
Hans-Ruedi Siegrist	Verfahrenstechnik	ETH Zürich
Laura Sigg	Umwelttoxikologie	ETH Zürich
Bernhard Truffer	Sozialwissenschaftliche Innovationsforschung	Universität Bern
Christoph Vorburger	Evolutionäre Ökologie	Nationalfonds (ETH Zürich)
Urs von Gunten	Trinkwasser/ Wasserressourcen	ETH Zürich (+ ordentl. Professur EPFL)
Lenny Winkel	Anorganische Umwelt- geochemie	Nationalfonds (ETH Zürich)
Alfred Wüest	Gewässerphysik	ETH Zürich



Kristin Schirmer,
Biologin und Leiterin
der Abteilung Umwelt-
toxikologie.

Sind Transformations- produkte ein Umweltrisiko?

Technische und natürliche Prozesse wie die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht führen zur Veränderung chemischer Stoffe in der aquatischen Umwelt. Doch ist die Transformation der Chemikalien gleichzusetzen mit einem reduzierten Umweltrisiko? Basierend auf Wissen über chemische Transformationsprozesse und mithilfe chemischer und biologischer Analytik entwickelt die Eawag Strategien, um Antworten zu finden.

Oxidations- und fotochemische Prozesse tragen in entscheidendem Masse zum Abbau organischer Chemikalien in natürlichen Gewässern oder bei der Wasserbehandlung bei. Ein sofortiger Abbau zu Kohlendioxid und Wasser (Mineralisierung) erfolgt jedoch in der Regel nicht – vielmehr entsteht eine Mischung aus unterschiedlichen Transformationsprodukten. Über die Identität und potenzielle Risiken, die solche Transformationsprodukte für die Umwelt darstellen, ist in der Regel allerdings nur wenig oder nichts bekannt.

Eine Analyse der verfügbaren Daten über das Vorkommen, Verhalten und die Toxizität einiger Pestizide und ihrer Transformationsprodukte in Gewässern lässt darauf schliessen, dass die Beziehung von Transformationsprodukten mit ihren Ausgangssubstanzen durchaus etwas mit einer Eltern-Kind-Beziehung gemeinsam hat. So zeigte besagte Studie, an der auch Chemikerin Kathrin Fenner von der Abteilung Umweltchemie der Eawag beteiligt war [1], dass Transformationsprodukte möglicherweise häufiger anzutreffen sind als ihre «Eltern» und dass sie vielleicht auch langlebiger sind. Zudem sind Transformationsprodukte meist beweglicher, das heisst, sie haben allgemein eine geringere Tendenz, sich an organisches Material, zum Beispiel im Sediment, zu binden. Und schliesslich sind die Transformationsprodukte häufig weniger giftig als die «Eltern».

Expositionsorientierter Prüfansatz. Allerdings gibt es eine Reihe von Transformationsprodukten, die 10-mal oder gar 100-mal giftiger sein können als ihre Ausgangssubstanz. Ein Beispiel dafür sind Oxidationsprodukte des häufig in Gewässern nachweisbaren Schmerzmittels Diclofenac. Unter Einwirkung von Sonnenlicht werden aus Diclofenac Produkte gebildet, die in ihrer Mischung die Vermehrung von einzelligen Grünalgen um ein Vielfaches stärker hemmen als Diclofenac selbst [2]. Es besteht demnach kein Zweifel, dass Transformationsprodukte zur Gesamtbelastung von Gewässern mit Chemikalien beitragen können und dass sie einer sorgfältigen Bewertung bedürfen. Doch wie kann man angesichts der Vielfalt möglicher Reaktionskaskaden und resultierender Mischungen an Produkten bewerten, ob tatsächlich ökotoxikologisch bedenkliche Substanzen entstehen?

Zwei Prüfansätze, die zur Umweltrisikobewertung entstehender Transformationsprodukte herangezogen werden können, basieren auf den Komponenten, welche das Risiko definieren: Exposition und Effekt. Nur wenn Organismen in der Umwelt tatsächlich Transformationsprodukten ausgesetzt sind (Exposition) und wenn diese Transformationsprodukte in den Organismen eine Reaktion auslösen (Effekt), besteht ein Umweltrisiko. Zur Beurteilung der Exposition stellt sich demnach die Frage, welche Transformationsprodukte gebildet werden und zu welchen Konzentrationen sie in der Umwelt nachweisbar sind. Um die Relevanz von Effekten zu beurteilen, untersucht man dagegen, wie toxisch die Transformationsprodukte im Vergleich zur Ausgangssubstanz sind.

Je nach dem Schwerpunkt der Beurteilung lassen sich demnach zwei Prüfansätze ableiten: der expositionsorientierte und der effektorientierte Ansatz. Exposition und Effekt sind in beiden Fällen eng miteinander verknüpft, aber die Herangehensweise und der Detaillierungsgrad der abgeleiteten Informationen unterscheiden sich [3].

Der expositionsorientierte Prüfansatz zielt auf die Identifikation von Transformationsprodukten in Umweltproben mittels chemischer Analytik. Weisen die Analysemuster auf Transformationsprodukte in relevanten Konzentrationen hin, führen eine Fraktionierung und weitere Analysen zu deren Identifikation. Im besten Fall gibt es für die identifizierten Transformationsprodukte oder zumindest für strukturell ähnliche Substanzen bereits ein Profil betreffend biologische Effekte. In den meisten Fällen ist jedoch zu erwarten, dass es noch keine entsprechenden Informationen gibt. Dann müssen diese Effektdaten erhoben werden, indem die isolierten oder neu synthetisierten Transformationsprodukte biologischen Wirkungstests unterzogen werden.

Effektorientierter Prüfansatz. Der effektorientierte Prüfansatz basiert auf dem toxischen Potenzial der Ausgangssubstanz und der durch Transformationsprozesse entstehenden Mischungen in biologischen Wirkungstests. Nimmt das toxische Potenzial der Substanzmischungen im Verlauf der Transformationsprozesse proportional zum Verlust der Ausgangssubstanz ab, kann man

davon ausgehen, dass die Ausgangssubstanz die Toxizität dominiert und damit entscheidend für die Umweltrisikobewertung ist. Nur wenn die Mischung aus Transformationsprodukten toxischer ist als von der Ausgangssubstanz erwartet, sind weitere Schritte zur Identifizierung der toxikologisch aktiven Substanz(en) gefragt. Dazu gehört zum Beispiel eine Kombination aus Fraktionierung sowie biologischer und chemischer Analytik [4].

Es wird deutlich, dass der expositionsorientierte Prüfansatz einen sehr hohen Aufwand erfordert, der allerdings zu einem detaillierten Verständnis betreffend die Identität und Toxizität von Transformationsprodukten führt. Dagegen ist der effektorientierte Ansatz eher pragmatisch und mit einem reduzierten Aufwand verbunden, denn der Identität und Toxikologie von Transformationsprodukten wird nur dann nachgegangen, wenn die Effekte von den erwarteten Effekten der Ausgangssubstanz abweichen. Damit die chemische und biologische Analytik greift, braucht es bei beiden Ansätzen eine klare Eingrenzung der möglichen Transformationsprodukte. Wissens- und computergestützte Vorhersagen betreffend Identität und biologische Wirkungsweisen von zu erwartenden Transformationsprodukten sind für diese Ausrichtung essenziell [5, 6].

Vierstufiges Testverfahren. Aufgrund der Vielzahl an relevanten Substanzen und möglichen oxidations- und fotochemischen Transformationsprozessen verfolgen die Eawag-Forschenden Nadine Bramaz und Kristin Schirmer der Abteilung Umweltoxikologie sowie Hana Mestankova, Urs von Gunten und Silvio Canonica der Abteilung Wasserressourcen und Trinkwasser in Zusammenarbeit mit Beate Escher vom nationalen Forschungszentrum für Umweltoxikologie (Entox) in Australien derzeit den effektorientierten Bewertungsansatz. Dabei liegt der Fokus vor allem auf spezifischen biologischen Effekten, zum Beispiel der Hemmung einer konkreten Enzymaktivität oder der Hemmung der Fotosynthese [7]. Solche spezifischen Effekte werden in der Regel in Substanzkonzentrationen ausgelöst, die weit unter der sogenannten Basis-toxizität liegen, die auf einer unspezifischen Wechselwirkung mit Zellmembranen beruht. Die Entwicklung der Toxizität wird beim

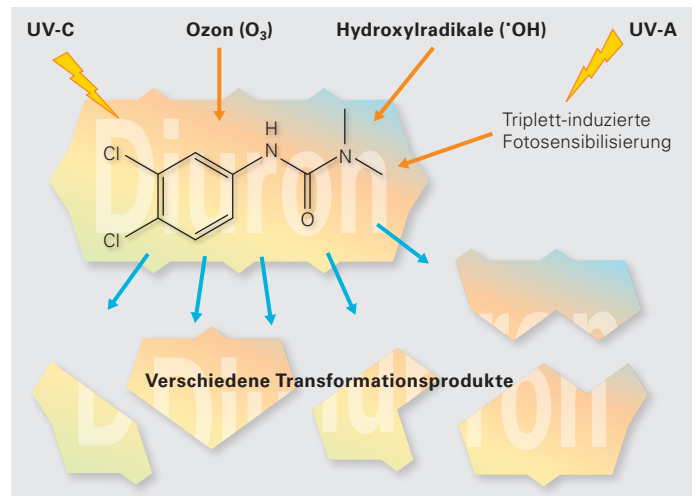


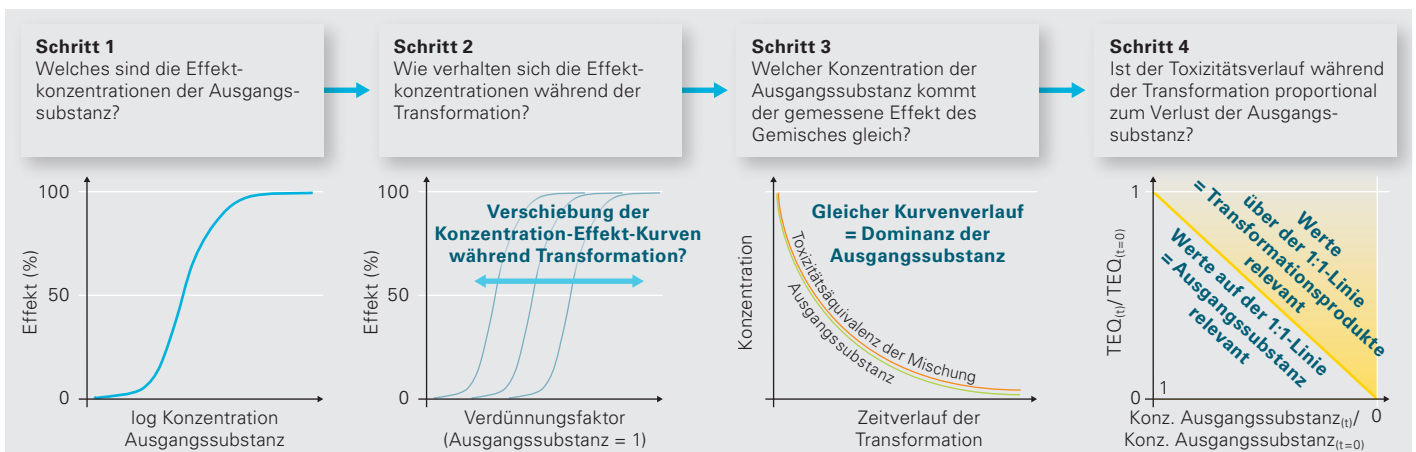
Abb. 1: Effektbasierter Bewertungsansatz für vier Transformationsprozesse (Diuron steht hier stellvertretend für verschiedene Ausgangsverbindungen).

effektorientierten Ansatz für vier Transformationsprozesse verfolgt (Abb. 1): die direkte Fototransformation durch ultraviolette Strahlung, die auf energetische Anregung von organischen Molekülen beruhende Triplet-induzierte Fotosensibilisierung, die Oxidation durch Hydroxylradikale und die Oxidation durch Ozon.

Beispielsweise untersuchten die Forschenden mithilfe des effektorientierten Prüfverfahrens die Chemikalie Diuron bezüglich ihrer Wirkung auf die einzellige Grünalge *Pseudokirchneriella subcapitata*. Diuron [3-(3,4-Dichlorphenyl)-1,1-dimethylharnstoff] ist ein Herbizid, dessen spezifische Wirkung die Hemmung der Fotosynthese und des Wachstums in Pflanzen ist. Aufgrund ihrer Relevanz in der Ökotoxikologie und ihrer einfachen Handhabung wählten die Wissenschaftler die Grünalge als repräsentativen photosynthetisch aktiven Organismus aus.

Das effektorientierte Prüfverfahren lässt sich in vier Schritte unterteilen (Abb. 2). Zuerst bestimmt man die Effektkonzentrationen der Ausgangssubstanz, in diesem Falle also die Hemmung

Abb. 2: Das effektorientierte Prüfverfahren lässt sich in vier Schritte unterteilen.



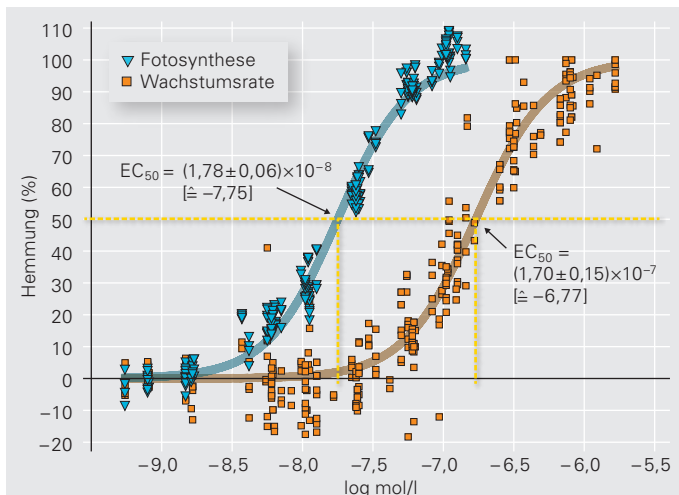


Nadine Bramaz und Hana Mestankova diskutieren die Ergebnisse der in Mikrotiterplatten gemessenen Toxizität der Mischungen aus Ausgangssubstanz und Transformationsprodukten. Im Hintergrund steht das Chromatografiegerät, mit dessen Hilfe die Konzentration der Ausgangssubstanz in den jeweiligen Mischungen ermittelt wird.

der Fotosynthese und des Algenwachstums durch Diuron. Diese Konzentrationen dienen später als Referenz für die Beurteilung der Mischung (siehe Schritt 3). Für Diuron lag die Effektkonzentration (EC_{50}), die bei *Pseudokirchneriella subcapitata* die Lichtquantenausbeute des Fotosynthesesystems nach zwei Stunden Exposition um 50 Prozent reduzierte, bei $1,78 \pm 0,06 \times 10^{-8}$ Mol pro Liter (mol/l); für die Inhibierung der Algenwachstumsrate über 24 Stunden betrug die EC_{50} $1,7 \pm 0,15 \times 10^{-7}$ mol/l (Abb. 3).

Im zweiten Schritt werden die entsprechenden Transformationsprozesse – hier also die vier in Abbildung 1 dargestellten

Abb. 3: Konzentration-Effekt-Beziehungen für die Inhibierung der Fotosynthese und der Wachstumsrate bei der Grünalge *Pseudokirchneriella subcapitata* anhand eines kombinierten Algentests [7, 8].



(foto-)oxidativen Verfahren – untersucht. Zu verschiedenen Zeitpunkten werden dabei die gebildeten Mischungen, in unserem Fall aus Diuron und dessen Transformationsprodukten, auf ihre Effekte analysiert. Abbildung 4a zeigt den Verlauf der Konzentration-Effekt-Kurven für die Inhibierung der Fotosynthese, wenn Diuron über direkte Fototransformation abgebaut wird. Da die Konzentrationen jetzt nicht mehr einer spezifischen Chemikalie zugeordnet werden können, gibt man die EC_{50} als Verdünnungsfaktor (mit Verdünnungsfaktor = 1 für die Ausgangskonzentration von Diuron) an. Die Abbildung verdeutlicht, dass sich die Konzentration-Effekt-Kurven mit zunehmendem Fotoabbau zu höheren Konzentrationen hin verschieben; demnach nimmt die hemmende Wirkung auf das Fotosystem über die Zeit ab.

Sind Transformationsprodukte relevant? Um die Effekte in den Mischungen mit den Effekten der Ausgangssubstanz vergleichen zu können, wird im dritten Schritt das Konzept der toxischen Äquivalenzkonzentrationen (TEQ) eingesetzt [8, 9]. Dabei wird das Verhältnis der EC_{50} -Werte der Referenzsubstanz (in unserem Fall Diuron) und der jeweiligen Mischung ermittelt; die resultierende Diuron-Äquivalenzkonzentration (DEQ) gibt an, welcher Konzentration an Diuron der gemessene Effekt in der Mischung gleichkommt. Falls die Toxizität der Mischung allein von der Referenzsubstanz dominiert wird, sollten sich die biologisch ermittelten Diuron-Äquivalenzkonzentrationen und die chemisch quantifizierten Diuronkonzentrationen über den Zeitverlauf decken. Tatsächlich ergab sich bei der direkten Fototransformation des Diurons ein solcher Verlauf (Abb. 4b).

Im vierten Schritt trägt man die Quotienten der über die Behandlungsdauer biologisch ermittelten DEQs und der DEQ zum Startzeitpunkt gegen die Quotienten der über die Behandlungsdauer analytisch ermittelten Diuron-Konzentrationen und der Diuron-Konzentration zum Startzeitpunkt auf. Für den Fall, dass Diuron allein den biologischen Effekt der Mischung bestimmt, erwartet man einen proportionalen Verlauf der Abnahme der DEQs mit der Abnahme der Diuron-Konzentration im Verhältnis 1:1. Falls die Mischung aus Transformationsprodukten stärker biologisch wirksam ist als die Referenzsubstanz, liegen die Werte deutlich über der 1:1-Linie (Abb. 2, Schritt 4). Abbildung 4c zeigt, dass für den direkten Fotoabbau von Diuron ersterer Fall zutrifft. Sowohl die Hemmung der Fotosynthese als auch der Wachstumsrate der Algen wird demnach durch die Wirksamkeit des Diurons dominiert. Wir können folgern, dass für diese Kombination und dieses Testsystem keine weiteren Untersuchungen im Hinblick auf die ökotoxikologische Bewertung der Transformationsprodukte notwendig sind. Zu den gleichen Ergebnissen kamen wir für die weiteren drei untersuchten (foto-)oxidativen Prozesse.

Verfahren weiterentwickeln. Aufgrund der Vielfalt und Komplexität der zu erwartenden Mischungen aus Transformationsprodukten in der Umwelt erscheint eine schrittweise Analyse des ökotoxikologischen Risikos sinnvoll. Wir schlagen das hier vorgestellte Prüfverfahren als ersten effizienten Schritt vor, um zu untersuchen, ob gebildete Transformationsprodukte eine höhere Toxizität aufweisen als ihre Ausgangssubstanz oder ob das ökoto-

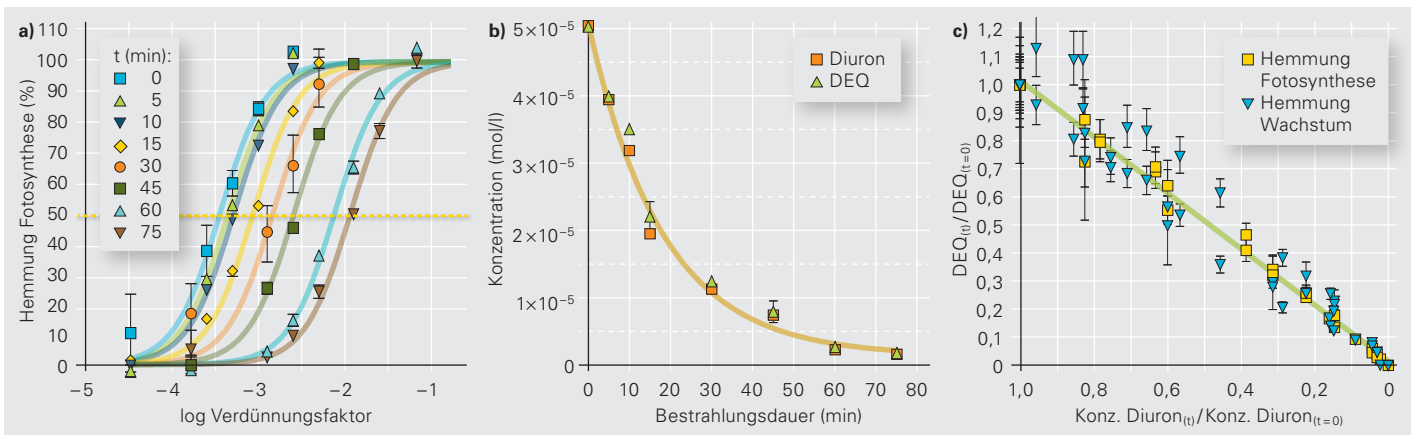


Abb. 4: Effekte auf die Grünalge *Pseudokirchneriella subcapitata* durch Diuron und dessen Transformationsprodukte bei der direkten Fototransformation von Diuron. a) Direkte Fototransformation von Diuron (50 µmol/l, pH = 8) führt zu Mischungen aus Transformationsprodukten, die mit zunehmender Behandlungszeit bezüglich Hemmung der Fotosynthese weniger wirksam sind. b) Die Diuron-Äquivalenzkonzentrationen (DEQ) und die Diuronkonzentrationen nehmen über den Behandlungszeitraum deckungsgleich ab. c) Proportionalität der biologischen Effekte (Hemmung von Fotosynthese und Wachstumsrate) mit der jeweils vorhandenen Diuronkonzentration weist auf die dominante biologische Wirkung des Diurons in der Mischung mit Transformationsprodukten hin.

ökologische Risiko allein über die Ausgangssubstanz abgeschätzt werden kann.

Momentan wenden wir das hier vorgestellte Prüfverfahren auf die Transformationsprodukte aus dem (foto-)oxidativen Abbau von Triclosan (einem Bakterizid) und auf Oseltamivir (die aktive Substanz des Antivirumittels Tamiflu) an. In einem weiteren von der US Water Research Foundation finanzierten Projekt untersuchen wir zusammen mit der Universität Colorado Substanzen, die auf der Prioritätenliste für Trinkwasserkontaminanten der amerikanischen Umweltschutzbehörde stehen. Diese Studien tragen zu einer wissenschaftlichen Beurteilung von Grenzen und Chancen (foto-)oxidativer Transformationsprozesse im Hinblick auf den Schutz des Trinkwassers und der aquatischen Umwelt bei. Gleichzeitig helfen sie, das hier vorgestellte Verfahren weiter zu validieren und zu entwickeln. Dabei besteht die grösste Herausforderung in der Identifikation möglicher biologischer Effekte, die sich nicht ohne Weiteres aus der Chemikalienstruktur der Ausgangssubstanz oder bekannten biologischen Wirkungen ableiten lassen. ○ ○ ○

- [1] Boxall A.B.A., Sinclair C.J., Fenner K., Kolpin D., Maund S.J. (2004): When synthetic chemicals degrade in the environment. *Environmental Science & Technology* 38, 368A–375A.
- [2] Schmitt-Jansen M., Bartels P., Adler N., Altenburger R. (2007): Phytotoxicity assessment of diclofenac and its phototransformation products. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 387, 1389–1396.
- [3] Escher B.I., Fenner K. (2011): Recent advances in environmental risk assessment of transformation products. *Environmental Science & Technology* 45, 3835–3847.
- [4] Brack W. (2003): Effect-directed analysis: A promising tool for the identification of organic toxicants in complex mixtures? *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 377, 397–407.
- [5] Kern S., Fenner K., Singer H.P., Schwarzenbach R.P., Hollender J. (2009): Identification of transformation products of organic contaminants in natural waters by computer-aided prediction and high-resolution mass spectrometry. *Environmental Science & Technology* 43, 7039–7046.
- [6] Escher B.I., Baumgartner R., Lienert J., Fenner K. (2009): Predicting the ecotoxicological effects of transformation products, in: *Handbook of Environmental Chemistry, Vol. 2, Reaction and Processes*, ABA, Springer, Berlin/Heidelberg.
- [7] Mestankova H., Escher B., Schirmer K., von Gunten U., Canonica S. (2011): Evolution of algal toxicity during (photo)oxidative degradation of diuron. *Aquatic Toxicology* 101 (2), 466–473.
- [8] Escher B.I., Bramaz N., Müller J.F., Quayle P., Rutishauser S., Vermeirssen E. (2008): Toxic equivalent concentrations (TEQs) for baseline toxicity and specific modes of action as a tool to improve evaluation of ecotoxicity tests on environmental samples. *Journal of Environmental Monitoring* 10, 612–621.
- [9] Villeneuve D.L., Blankenship A.L., Giesy J.P. (2000): Derivation and application of relative potency estimates based on in-vitro bioassays. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 2835–2843.

Trinkwassermikrobiologie: vom Wissen zur Anwendung



Frederik Hammes, Umweltmikrobiologe, arbeitet in der Gruppe Trinkwasser-Mikrobiologie und Ökophysiologie der Abteilung Umweltmikrobiologie.

In hochwertigem Trinkwasser kommen natürlicherweise verschiedenste Mikroorganismen vor. Mikrobielle Prozesse spielen bei der Trinkwasseraufbereitung sogar eine bedeutende Rolle. Verunreinigungen mit problematischen Bakterien können die Wasserqualität jedoch beeinträchtigen. Neuartige Verfahren ermöglichen eine bessere Überwachung des Trinkwassers und ein vertieftes Verständnis über die grundlegenden mikrobiologischen Abläufe.

Bakterien sind ein natürlicher Bestandteil des Trinkwassers. Trotzdem reagieren die meisten Konsumentinnen und Konsumenten negativ auf die unsichtbaren und allermeistens unbekanntesten Organismen. Das schlechte Image ist zumindest teilweise darauf zurückzuführen, dass einzelne Keime im Wasser Krankheiten verursachen können. So starben in den letzten Jahren zum Beispiel in Haiti und Simbabwe Tausende von Menschen an Cholera, die vom Bakterium *Vibrio cholerae* übertragen wird. Unkontrolliertes Bakterienwachstum kann zudem den Geschmack, den Geruch oder die Farbe von Trinkwasser beeinträchtigen und Trübungen verursachen.

Doch die überwiegende Mehrheit der Mikroorganismen im Trinkwasser ist völlig harmlos. Mikrobielle Prozesse sind vielmehr

ein grundlegender funktioneller Bestandteil der Trinkwasseraufbereitung. Viele Aufbereitungsanlagen verwenden zum Beispiel eine biologische Filtration, bei der Bakterien (etwa in einem Aktivkohlefilter oder in einem Sandfilter) unerwünschte organische Verbindungen aus dem Wasser entfernen [1].

Bakterien im Gleichgewicht. Ein umfassendes Verständnis der Diversität der Mikroorganismen, von deren Ökologie und der mikrobiologischen Prozesse im Trinkwasser ist daher wichtig, um das Trinkwassermanagement weiter zu verbessern und den Verbraucherinnen und Verbrauchern ein möglichst sicheres und gutes Produkt bereitstellen zu können. Oberstes Ziel ist es nicht nur, qualitativ hochwertiges Trinkwasser zu produzieren, sondern

Die grundlegenden mikrobiologischen Vorgänge in Trinkwassersystemen sind noch wenig verstanden. Im Bild: Mikroorganismen-Vielfalt in einem biologischen Filter zur Trinkwasseraufbereitung.

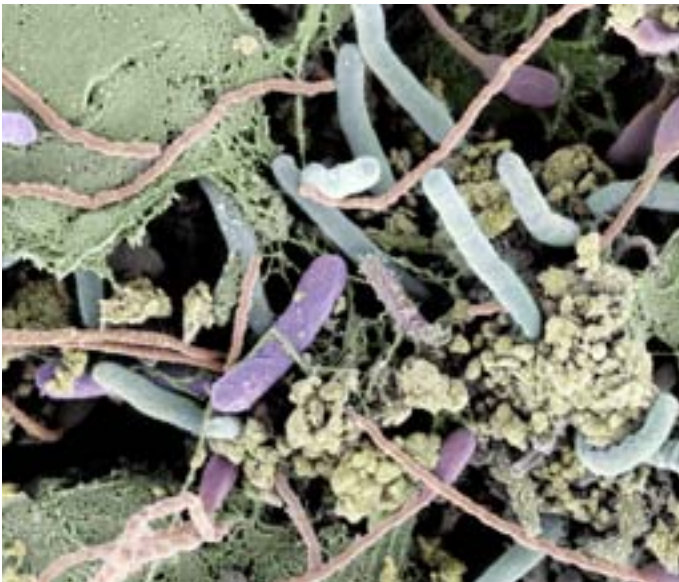
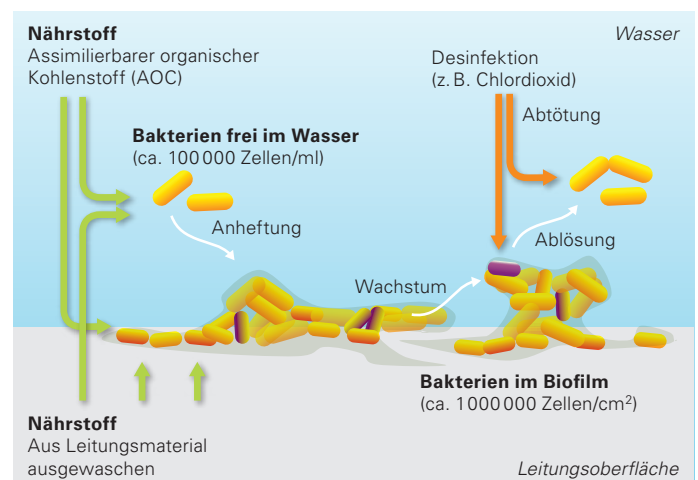


Abb. 1: Dynamisches Gleichgewicht in einer Trinkwasserleitung. Die Mikroorganismen verwerten vor allem sogenannten assimilierbaren organischen Kohlenstoff (AOC). Als AOC bezeichnet man jenen Teil von im Wasser gelöstem Kohlenstoff, den Mikroorganismen sofort verwerten können und der für ihre Vermehrung entscheidend ist. AOC gilt daher als Schlüsselparameter, um die Anzahl Bakterien im Trinkwasser und dessen mikrobiologische Stabilität zu kontrollieren.



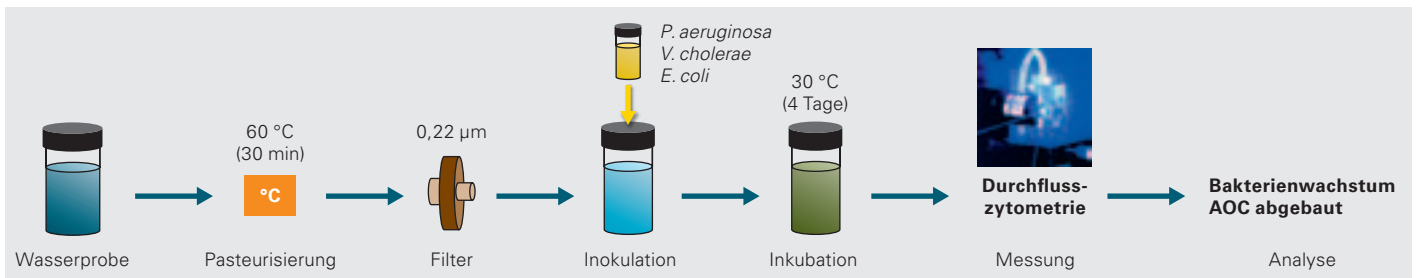


Abb. 2: Funktionsprinzip der PGP-Methode (nach [4]).

diese Qualität auch am Ende der Leitung, beim Verbraucher, gewährleisten zu können. Um das Wasser während des Transportes und Verbleibs im Leitungssystem vor übermäßigem bakteriellen Aufwuchs zu schützen, fügt man ihm daher in einigen Ländern Chlor oder Chlordioxid als Desinfektionsmittel bei. Das kann allerdings zu unerwünschten Nebeneffekten führen, denn neben der Abtötung von Pathogenen reagiert das Chlor im Trinkwasser mit organischem Material und bildet verschiedene toxische Nebenprodukte [2].

Die Schweiz und viele europäische Länder wie Deutschland, Österreich oder die Niederlande wollen ihrem Trinkwasser jedoch möglichst keine zusätzlichen Chemikalien begeben und setzen neben Chlorierung bereits in vielen Verteilnetzen auf biologisch stabiles Wasser. Das Konzept basiert auf einer Kombination von wissenschaftlichen Erkenntnissen, technischen Anwendungen und Erfahrung. Ziel ist es, ein Bakterienwachstum im Verteilnetz durch eine Limitierung der Nährstoffe zu verhindern. Denn die Menge der Bakterien hängt vom Nahrungsangebot ab, das in Form organischen Kohlenstoffs (zum Beispiel Zucker, Aminosäuren oder organische Säuren) zur Verfügung steht. Konkurrenz zwischen den verschiedenen Mikroorganismen um diese Nahrung beschränkt die Vermehrung einzelner Arten ebenfalls und trägt zu einem stabilen Gleichgewicht bei (Abb. 1).

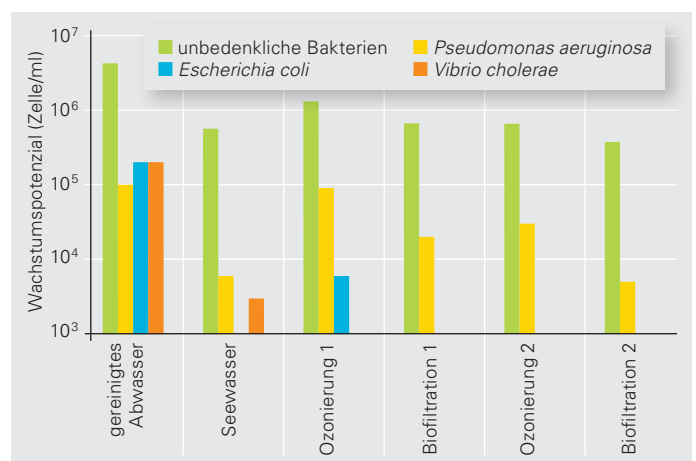
Um den mikrobiologischen Zustand von Trinkwasser zuverlässig kontrollieren zu können, werden Analysemethoden benötigt, die Parameter wie das Nahrungsangebot oder die Bakterienbiomasse erfassen können.

Das Potenzial für Pathogene erfassen. Die Messung der verfügbaren Nährstoffe ist ein verlässlicher Weg, abzuschätzen, wie viele Bakterien im Trinkwasser wachsen können. Da normalerweise organischer Kohlenstoff den limitierenden Faktor darstellt, messen praktisch alle Wasserversorgungen routinemässig die Konzentration von gelöstem organischem Kohlenstoff (abgekürzt DOC für dissolved organic carbon) im Trinkwasser. Der DOC-Gehalt sauberen Trinkwassers liegt im Durchschnitt zwischen 0,5 und 2 Milligramm pro Liter. Die Mikroorganismen verwerten jedoch nur 1 bis 10 Prozent des DOC. Dieser geringe Anteil, der sogenannte assimilierbare organische Kohlenstoff (AOC), ist daher bei der Trinkwasseraufbereitung die entscheidende Grösse [3]. Bereits Spuren von AOC können zu einem unerwünschten Bakterienwachstum führen. So reichen 0,001 Milligramm als Lebensgrundlage für 10 000 000 Bakterienzellen.

Um eine Hygienebeurteilung vornehmen zu können, genügt es allerdings nicht, nur den AOC-Gehalt zu messen. Vielmehr ist es wichtig, zuverlässig allfällige Krankheitskeime zu erfassen. Die Eawag hat daher während der letzten zehn Jahre eine Methode entwickelt, mit der sich spezifisch jener Anteil an AOC ermitteln lässt, von dem sich pathogene Bakterien ernähren [4]. Die Methode basiert darauf, dass verschiedene Bakterienarten sehr unterschiedliche Nahrungspräferenzen haben und Nährstoffe unterschiedlich gut abbauen. Mit dem «pathogen growth potential (PGP) assay» genannten Verfahren kann man so direkt bestimmen, ob und in welchem Mass eine Wasserprobe das Wachstum spezifischer Bakterien wie zum Beispiel *Escherichia coli*, *Vibrio cholerae* oder *Pseudomonas aeruginosa* begünstigt (Abb. 2).

Dass sich die PGP-Methode nicht nur bei Trinkwasser anwenden lässt, zeigen umfassende Tests mit Gewässerproben und Abwasser. Abbildung 3 illustriert zum Beispiel, wie sich das Potenzial für das Wachstum pathogener und unbedenklicher Bakterien bei einer Trinkwasseraufbereitung aus Seewasser im Vergleich zu gereinigtem Abwasser verändert. Die biologische Filtration reduziert dabei das PGP bis auf ein geringes Wachstumspotenzial für *Pseudomonas aeruginosa* vollständig, indem die Biofilter-Bakterien den verfügbaren organischen Kohlenstoff auf Kosten der Pathogene abbauen.

Abb. 3: Das Wachstumspotenzial für pathogene und unbedenkliche Bakterien während der Trinkwasseraufbereitung im Vergleich zu gereinigtem Abwasser (nach [4]).



Das PGP-Verfahren erlaubt es nicht nur, Wasser auf seine Trinkqualität zu untersuchen und die Resultate von Aufbereitungstechnologien zu überprüfen. Mit der Methode lassen sich auch die Nährstoffansprüche spezifischer Bakterien und der Konkurrenzkampf zwischen pathogenen und harmlosen Bakterien um verfügbare Ressourcen weiter erforschen.

Intakte und beschädigte Bakterien zählen. Ein Milliliter aufbereitetes Trinkwasser enthält abhängig vom Ursprung des Wassers und der Art der Aufbereitung typischerweise zwischen 20 000 und 200 000 Bakterienzellen. Wie viele Bakterien im Trinkwasser genau vorkommen, interessiert sowohl den Wissenschaftler als auch den Praktiker. Denn Veränderungen in der Bakterienkonzentration deuten auf mikrobielle Prozesse hin, die im Wasser ablaufen und dessen Qualität verändern können.

Ergänzend zum PGP-Verfahren gibt es auch Methoden, die Zellkonzentrationen direkt messen können. So lässt sich zum Beispiel der Abbau assimilierbaren organischen Kohlenstoffs als Zunahme der Anzahl Bakterien nachweisen. Solche Messungen eignen sich besonders, um die mikrobiologische Stabilität von Trinkwasser während der Verteilung im Leitungssystem zu kontrollieren.

Mit der Durchflusszytometrie und Messungen von Adenosin-triphosphat (ATP) hat die Eawag in den letzten Jahren Analysewerkzeuge entwickelt, welche die bisher gängigen Kultivierungsmethoden ersetzen könnten, da sie wesentlich genauer und schneller sind [5 und 6]. Mit diesen beiden komplementären Ansätzen können wir die mikrobielle Qualität einer breiten Palette von Wasserproben – von Grundwasser über Trinkwasser, Mineralwasser und Oberflächenwasser bis zu Abwasser – beschreiben (Abb. 4).

Für die Überprüfung von Desinfektionsmassnahmen (etwa durch eine Ozonierung oder Chlorierung) braucht es Methoden, mit denen sich lebensfähige Zellen nachweisen lassen.

Die Durchflusszytometrie kombiniert mit Färbemethoden ermöglicht auch Aussagen über die Aktivität beziehungsweise Lebensfähigkeit von Mikroorganismen im Trinkwasser. So konnte Maaïke Ramseier in ihrer Doktorarbeit mithilfe dieser Methodik die Wirksamkeit der verschiedenen Oxidantien Ozon, Chlor, Chlordioxid, Monochloramin, Ferrat und Permanganat bei der Desinfektion nachweisen [7]. Oxidantien verursachen bei Bakterien eine schwere Schädigung der Zellwände. Mit Propidiumiodid lassen sich selektiv nur die membranbeschädigten Zellen anfärben und

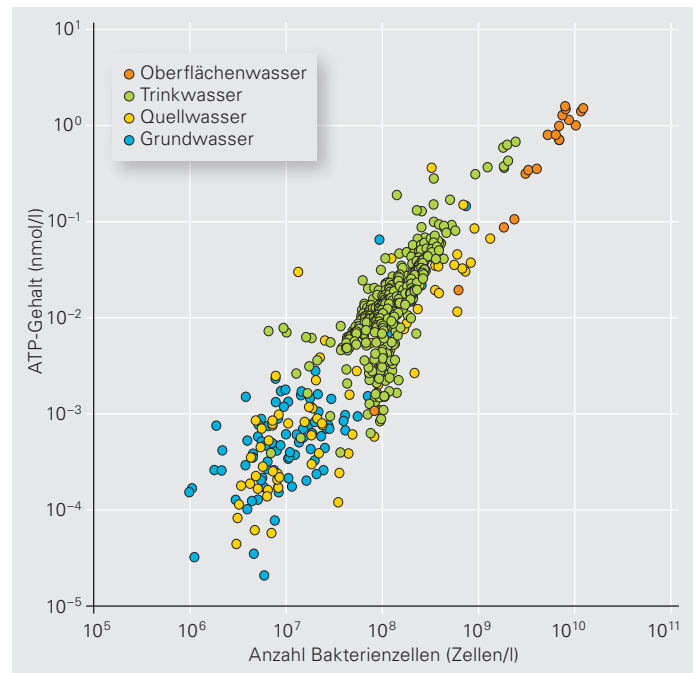


Abb. 4: Korrelation zwischen der Anzahl Bakterienzellen (gemessen mit der Durchflusszytometrie) und dem ATP-Gehalt verschiedener Wasserproben. Abhängig von ihrem Ursprung zeigen Wasserproben charakteristische ATP-Gehalte und Zellzahlen (Daten aus [6] und von Stefan Kötzsch).

so in der nachfolgenden Durchflusszytometrie von intakten Bakterien unterscheiden. Bei der mit Chlordioxid behandelten Hahnenwasserprobe in Abbildung 5 ist die zunehmende Schädigung der Bakterien als Funktion der Expositionsdauer klar erkennbar.

Durch die Charakterisierung spezifischer Zelleigenschaften (in diesem Fall der Integrität der Zellwand) lässt sich nicht nur nachweisen, ob eine Desinfektion wirkt, sondern teilweise auch den Funktionsmechanismus dahinter erklären. Damit bietet sich der Wissenschaft mit der durch Färbemethoden erweiterten Durchflusszytometrie ein Analysewerkzeug, um die Kinetik von Desinfektionen bei Bakterien zu untersuchen und besser zu verstehen.

Den Wasserversorgungen wiederum steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem sie Desinfektionsmassnahmen evaluieren und direkt vor Ort überprüfen können. Dies erlaubt es, auf Stör-

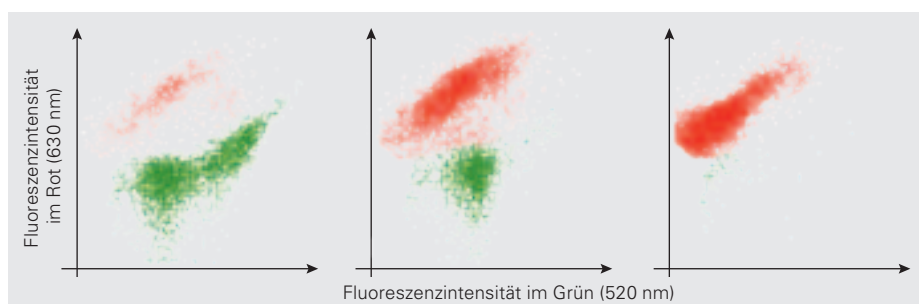


Abb. 5: Unterscheidung von beschädigten und intakten Bakterienzellen mithilfe der Durchflusszytometrie. Die mit Propidiumiodid rot angefärbten Zellen sind beschädigt, die grünen (nicht spezifisch angefärbt) sind intakt. Von links nach rechts zunehmende Schädigung aufgrund längerer Expositions-dauer (nach [7]).

fälle oder Veränderungen der Wasserqualität sofort zu reagieren. So ermöglicht die Unterscheidung von beschädigten und intakten Bakterienzellen beispielsweise eine Überwachung von Trinkwasserleitungssystemen, die chloriertes Wasser verteilen: Da eine solche Behandlung die Bakterien vollständig abtötet, deutet das Vorhandensein intakter Zellen in einem Leitungssystem auf ein Bakterienwachstum und damit auf das Versagen des chemischen Schutzes hin. Für die Schweiz ist das von besonderer Relevanz, da hierzulande mehr und mehr Wasserwerke einen Wechsel vom chemischen Schutz hin zu biologisch stabilem Trinkwasser in Betracht ziehen.

Städtische Wasserversorgungen in Basel, Zürich, Riga und Amsterdam haben die Methodik in Fallstudien bereits erfolgreich getestet und wenden sie ihren Bedürfnissen angepasst für Forschungs- oder Monitoringzwecke weiter an.

Besseres Verständnis der Mechanismen. Die Vielfalt in der mikrobiologischen Welt ist grundsätzlich gut dokumentiert: Es existieren 52 Bakterienstämme und die Artenzahl wird auf ein bis zehn Millionen Spezies geschätzt. Diese decken einen breiten Bereich an physikalischen Eigenschaften, Nährstoffansprüchen und physiologischen Zuständen ab [8]. Doch während vieler Jahre hatte die Wissenschaft nur beschränkt Werkzeuge zur Verfügung, um einen Grossteil dieser Vielfalt wirklich aufzuspüren und im Detail zu beschreiben.


Jüngste Fortschritte bei der Hochdurchsatz-Sequenzierung von bakteriellem Erbgut machen es heute möglich, Tausende von Mikroorganismen in einer kleinen Wasserprobe zu identifizieren. So untersuchte die Eawag zusammen mit der University of Illinois mithilfe der sogenannten Pyrosequenzierung die mikrobielle Diversität von nicht chloriertem Trinkwasser. Die Methode erlaubt anhand der Analyse bestimmter Gene (16S-rRNA-Gene) eine detaillierte Charakterisierung von Bakteriengesellschaften, sodass wir verschiedene Gruppen von Mikroorganismen identifizieren und ihre jeweilige Häufigkeit bestimmen konnten.

Die erste Erkenntnis dieser Studie – neben einer Liste mit vielen Bakteriennamen – war, dass sich die Pyrosequenzierung gut eignen würde, um die Stabilität von Trinkwasser in einem Leitungssystem zu beurteilen [3]. So konnten wir schon kleinste mikrobielle Veränderungen, etwa aufgrund von Bakterienwachstum oder einer Kontamination, nachweisen und die dafür verantwortlichen Organismen identifizieren.

Zudem stellten wir fest, dass qualitativ hochwertiges Trinkwasser in Bezug auf die Konzentration der Bakterienzellen und die Zusammensetzung der Bakteriengesellschaften vom Produktionsort bis zum Wasserhahn beim Verbraucher stabil bleibt.

Solche Methoden werden es uns in Zukunft ermöglichen, die Mechanismen, die in mikrobiellen Gemeinschaften einer Trinkwasserversorgung ablaufen, besser zu verstehen und damit auch deren funktioneller Wert. Derzeit wissen wir zum Beispiel zwar, dass biologische Filter einwandfrei funktionieren, in Bezug auf ihre mikrobielle Zusammensetzung und Eigenschaften wissen wir aber praktisch nichts. Es ist vorherzusehen, dass ein tieferes Verständnis der mikrobiellen Prozesse den optimalen Bau und Betrieb solcher biologischer Filter erleichtern werden.

Das globale Bevölkerungswachstum und der damit verbundene steigende Wasserbedarf sowie Umweltveränderungen wie der Klimawandel werden die Ressource Wasser in Zukunft zunehmend unter Druck setzen und die Bereitstellung einwandfreien Trinkwassers erschweren. Um diese Herausforderungen zu meistern, sind eine umsichtige Planung und möglichst gute Kenntnisse der mikrobiologischen Vorgänge in Trinkwassersystemen unabdingbar.

Die Entwicklung einer breiten Palette neuer Methoden hilft einerseits der Forschung, diese grundlegenden Prozesse besser zu verstehen. Diese Methoden und das Wissen, das aus ihrer Anwendung generiert wird, gibt andererseits den Wasserversorgungen Werkzeuge in die Hand, um die Trinkwasseraufbereitung weiter zu verbessern und auch in Zukunft eine nachhaltige Versorgung mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser zu ermöglichen. 

- [1] Hammes F., Berger C., Köster O., Egli T. (2010): Assessing biological stability of drinking water without disinfectant residuals: A case-study of the Zurich water supply system. *Journal of Water Supply: Research and Technology, Aqua* 59 (1), 31–40.
- [2] Sedlak D.L., von Gunten U. (2011): The chlorine dilemma. *Science* 331, 42–43.
- [3] Lautenschlager K., Boon N., Wang Y., Egli T., Hammes F. (2010): Overnight stagnation of drinking water in household taps induces microbial growth and changes in community composition. *Water Research* 44 (17), 4868–4877.
- [4] Vital M., Stucki D., Egli T., Hammes F. (2010): Evaluating the growth potential of pathogenic bacteria in water. *Applied and Environmental Microbiology* 76 (19), 6477–6484.
- [5] Hammes F., Vital M., Stucki D., Lautenschlager K., Egli T. (2009): Advances in microbiological methods for drinking water analysis: Flow cytometry, assimilable organic carbon and pathogen growth potential. TECHNIAU: Safe drinking water from source to tap. IWA Publishing, Alliance House, London.
- [6] Hammes F., Goldschmidt F., Vital M., Wang Y., Egli T. (2010): Measurement and interpretation of microbial adenosine tri-phosphate (ATP) in aquatic environments. *Water Research* 44 (13), 3915–3923.
- [7] Ramseier M.K., von Gunten U., Freihofer P., Hammes F. (2011): Kinetics of membrane damage to high (HNA) and low (LNA) nucleic acid bacterial clusters in drinking water by ozone, chlorine, chlorine dioxide, monochloramine, ferrate(VI), and permanganate. *Water Research* 45 (3), 1490–1500.
- [8] Schloss P.D., Handelsman J. (2004): Status of the microbial census. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68, 686–691.



Max Maurer, Chemieingenieur und Verfahrenstechniker, leitet die Abteilung Siedlungswasserwirtschaft, ist Dozent an der ETH Zürich und Vorstandsmitglied im Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA).

Die zukünftige Wasserinfrastruktur planen

Eine nachhaltige Zukunftsplanung der Schweizer Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung muss auch zukünftige Bedürfnisse und Unsicherheiten berücksichtigen. Gute Lösungen zeichnen sich dabei weniger durch möglichst geringe Kosten aus, sondern berücksichtigen den optimalen Nutzen über die gesamte Lebensdauer und sind lokal angepasst. Eine Standardlösung für die Schweiz gibt es nicht.

Die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung gelten in der Schweiz als zentrale Elemente des Service public. Dank gezielten Investitionen in der Vergangenheit verfügt das Land heute über eine flächendeckende, sichere und leistungsfähige Wasserinfrastruktur mit qualitativ guten Dienstleistungen. Alleine die Abwasserentsorgung umfasst ein Kanalisationssystem von rund 87 000 Kilometern Länge, 759 Gross- und 3500 Kleinkläranlagen sowie circa 30 000 Vorbehandlungsanlagen. Der Wiederbeschaffungswert der Schweizer Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung wird auf 218 Milliarden Franken geschätzt; dazu kommen jährlich wiederkehrende kalkulatorische Kosten von rund 8 Milliarden Franken [1].

Bereits heute die Zukunft planen. Um die verfügbaren Ressourcen im Bereich Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung langfristig effizient und effektiv einsetzen zu können, gilt es, bereits heute die Zukunft zu planen und strategische Entscheidungen für die Weiterentwicklung der Siedlungswasserwirtschaft zu treffen. Dazu ist es wichtig, möglichst genau zu wissen, welche operativen und politischen Faktoren einen relevanten Einfluss auf das System Siedlungswasserwirtschaft haben. Insbesondere gilt es, möglichst alle Unsicherheiten, die eine solche Zukunftsplanung zwingend mit sich bringt, abzuschätzen und transparent in Entscheidungen zu integrieren. Hier ist besonders die Wissenschaft gefordert, geeignete Methoden bereitzustellen, um realistische Zukunftsszenarios zu entwickeln und neue Lösungsansätze zu bewerten.

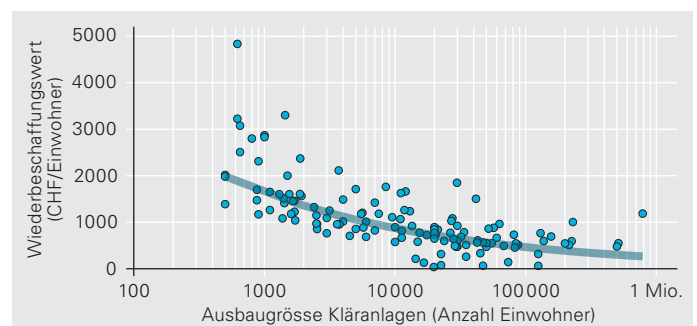
Für eine Kostenplanung ist es zum Beispiel wichtig zu wissen, ob eine Anlage einen sogenannten Skaleneffekt aufweist, das heisst, ob ein System mit zunehmender Grösse im Verhältnis billiger (oder allenfalls teurer) wird oder ob sich die Kosten linear zur Grösse verändern. Daneben stellt sich die Frage, was in der Planung berücksichtigte Unsicherheiten kosten.

Sind grosse Anlagen wirklich billiger? Kläranlagen und Trinkwasseraufbereitungen etwa zeigen auf den ersten Blick einen ausgesprochenen Skaleneffekt: Verdoppelt sich die Grösse der jeweiligen Anlage, dann steigen die Kosten lediglich um 60 bis

70 Prozent. Damit scheinen grosse Anlagen im Verhältnis billiger. So ergeben Berechnungen, dass die Wiederbeschaffungskosten schweizerischer Kläranlagen, die für 100 000 Einwohner ausgelegt sind, im Durchschnitt pro Person 3,5-mal tiefer liegen als bei solchen, die für 1000 Einwohner konzipiert wurden (Abb. 1). Vergleichbare Skaleneffekte lassen sich auch für Abwasserreinigungsanlagen im Ausland sowie für Trinkwasseraufbereitungssysteme nachweisen [3]. Die aufgrund von Skaleneffekten sinkenden Kosten sind heutzutage eines der Hauptargumente für das Zusammenlegen von Kläranlagen zu zentralisierten Systemen.

Grössere Anlagen benötigen allerdings auch ein grösseres Kanalnetz. Gibt es bei der Gesamtbetrachtung solcher Systeme immer noch Skaleneffekte? Um dies herauszufinden, entwickelten wir ein mathematisches Modell, das anhand von Gemeindedaten aus der Arealstatistik des Bundesamts für Statistik die Dimensionierung von Mischwasserkanalisationen in der Schweiz abbildet [4]. Mit dem Modell können wir mit der Bevölkerungsdichte, der Siedlungsfläche und der Anzahl Gebäude für eine Siedlung Länge und Wiederbeschaffungswert der Kanalisation abschätzen. Zudem lassen sich damit die quantitativ wichtigsten Einflussfaktoren auf die Neubaukosten von Mischwasserkanalisationsnetzen ermitteln.

Abb. 1: Skaleneffekt beim Wiederbeschaffungswert schweizerischer Kläranlagen. Die Grafik zeigt für 128 Anlagen den Wiederbeschaffungswert in Franken pro Einwohner in Funktion der Ausbaugrösse. Mit zunehmender Ausbaugrösse sinken die Kosten pro Einwohner. [2]





Bei der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung steht heutzutage der Werterhalt der bestehenden Infrastrukturen im Vordergrund. Es braucht aber auch Werkzeuge, um zukünftige Bedürfnisse zu erfassen und abzuschätzen.

Im Wesentlichen spielen drei Faktoren eine Rolle: der Leitungsdurchmesser, die Bodenversiegelung sowie die Gebäude- und Einwohnerdichte. Grössere Siedlungen haben ausgedehntere Kanalisationsnetze, was eine Erhöhung des Leitungsdurchmessers nötig macht und dadurch die Baukosten erhöht. Sie weisen zudem in der Regel eine höhere Versiegelung beziehungsweise einen geringeren Abflussbeiwert auf. Es muss daher über die Kanalisation mehr Regenwasser abgeleitet werden, was zu einem Ausbau und zu einer Verteuerung führt. Die Gebäude- und Einwohnerdichte verringern hingegen die Kosten, da sich diese auf mehr Einwohner verteilen.

Keine klaren Skaleneffekte. Während der Leitungsdurchmesser und die Bodenversiegelung einen klar negativen Skaleneffekt zeigen und mit zunehmender Grösse überproportional teurer werden, bewirken die Gebäude- und Einwohnerdichte einen positiven Skaleneffekt. In der Schweiz halten sich diese Einflussfaktoren gegenseitig in Balance. Das heisst, der Wiederbeschaffungswert ist in grösseren Siedlungen statistisch gesehen nicht geringer (oder höher). Damit weist die schweizerische Kanalisation gesamthaft betrachtet keinen Skaleneffekt auf (Abb. 2).

Da die Baukosten für eine Abwasserreinigungsanlage nur 10 bis 20 Prozent derjenigen für eine Kanalisation ausmachen, lässt sich sagen, dass für Schweizer Abwassernetze als Ganzes (Kanalisation und Kläranlagen) keine klaren Skaleneffekte existieren: Grössere Netze können geringere Baukosten haben, müssen aber nicht. Das bedeutet, dass eine Zentralisierung des Abwassermanagements auf wenige Grossanlagen nicht zwingend zu geringeren Kosten führt. Bei der Planung neuer Anlagen ist

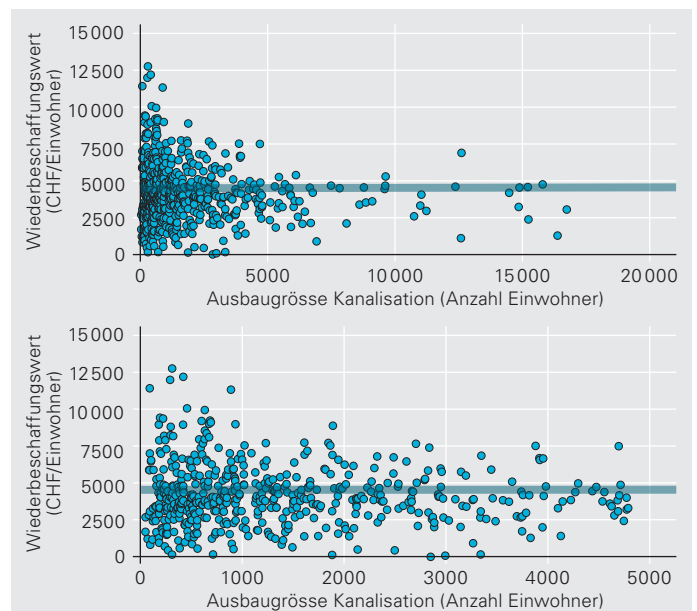
deshalb eine differenzierte Betrachtung nötig. Insbesondere muss in eine solche auch die mögliche zukünftige Entwicklung der Siedlungsstrukturen wie Zersiedelung oder Wachstum einfließen. Denn vor allem schwach besiedelte Gebiete mit unsicheren Zukunftsaussichten sind überproportional kostenintensiv. In solchen Regionen wäre allenfalls eine dezentrale Lösung zur Abwasserreinigung die bessere Wahl.

Unsicherheit in Kostenabschätzung einbeziehen. Infrastrukturen sind langfristige Bauten, die auch den Erfordernissen der Zukunft genügen müssen. So werden zum Beispiel Aufbereitungsanlagen basierend auf Prognosen für die Bedürfnisse der nächsten 30 Jahre ausgelegt und gebaut. Beim üblicherweise verwendeten deterministischen Ansatz zur Planung einer Anlage geht man von einem bestimmten Wachstum der Belastung aus und dimensioniert sie so, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer zu 100 Prozent ausgelastet ist, also während ihrer gesamten Betriebsdauer sicher die prognostizierte Leistung erbringen kann.

Es ist jedoch offensichtlich, dass jede Zukunftsabschätzung mit Unsicherheiten behaftet ist. Das kann dazu führen, dass eine Anlage bereits vor Ende der Lebensdauer überlastet ist oder aber gar nie die prognostizierte Auslastung erreicht. Beide Entwicklungen führen zu Mehrkosten. Relevant sind dabei nicht die Gesteungskosten (Gesamtkosten für den Bau der Anlage), sondern jene Kosten, die über die gesamte Lebensdauer pro Nutzer anfallen.

Mit einer von uns entwickelten Methode lassen sich die monetären Auswirkungen von Prognoseunsicherheiten erfassen und quantifizieren [5]. Damit können wir alle möglichen Belastungsentwicklungen simulieren und daraus die Kosten pro Nutzer berechnen. Zudem gewichten wir, mit welcher Wahrscheinlichkeit

Abb. 2: Wiederbeschaffungswerte von Mischkanalisationen in Schweizer Gemeinden. Eine zunehmende Ausbaugrösse führt nicht zu einer Verbilligung der Anlagen pro Einwohner. Es besteht kein Skaleneffekt. [2]



die verschiedenen Szenarien eintreffen. Wie stark die erwartete Belastung variieren kann, wenn Unsicherheiten mitberücksichtigt werden, zeigt das hypothetische Beispiel in Abbildung 3.

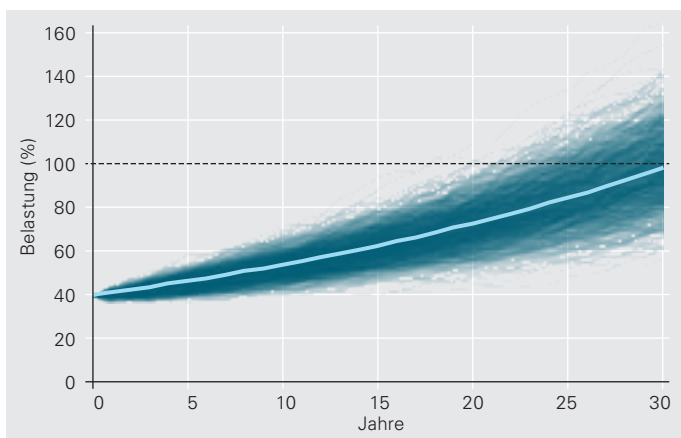
Gemäss unserem Modell bestimmen vor allem der Wachstumsverlauf der Belastung und die Unsicherheit die Kosten pro Nutzer: Je mehr und je länger die Belastung zum Beispiel unter der maximalen Auslastung liegt, desto geringer ist die durchschnittliche Auslastung der Anlage über die Lebensdauer gesehen. So beträgt die durchschnittliche Auslastung der Anlage in Abbildung 3 66 Prozent. Im Vergleich mit einer Lösung, die kein Wachstum berücksichtigen muss, fallen hier die Kosten über die gesamte Lebensdauer entsprechend 34 Prozent höher aus, als es von der benötigten Auslastung erforderlich wäre.

Mit unserem Verfahren lässt sich zudem auch die Wahrscheinlichkeit abschätzen, mit der die Kosten deutlich höher ausfallen werden als erwartet. Für das Beispiel in Abbildung 3 heisst das, dass in 80 Prozent der Fälle die Anlage mehr als 34 Prozent und in 10 Prozent der Fälle mehr als 49 Prozent teurer wird (in der Grafik nicht sichtbar). Als Bezug für die Kosten dienen dabei immer die durchschnittlichen Baukosten für einen Nutzer bei voller Auslastung und ohne Unsicherheiten.

Aus dieser Perspektive schneiden flexible Lösungen, die sich modular den wachsenden Bedürfnissen anpassen lassen, nun unter Umständen deutlich besser und letztlich billiger ab als in einer klassischen Kostenvergleichsmethode, die weder die Wachstumsdynamik noch die Unsicherheiten berücksichtigt.

Regionale Infrastruktur-Strategie. Für eine nachhaltige Entwicklung der Wasserinfrastruktur müssen die Investitionsentscheidungen auf einem ganzheitlichen Planungsprozess beruhen.

Abb. 3: Erwartete Belastung unter Einbezug von Unsicherheiten für ein hypothetisches Beispiel. Die dicke Linie stellt die erwartete Zunahme der Belastung einer Anlage um jährlich 3 Prozent gemäss deterministischem Ansatz dar. Demnach wäre die Anlage nach 30 Jahren zu 100 Prozent ausgelastet. Bleibt die Belastung dauerhaft unter der erwarteten Kurve, ist die Anlage überdimensioniert und die Kosten sind höher als prognostiziert. Wird die Belastungsgrenze vor Ablauf der Lebensdauer überschritten, ist die Anlage dagegen unterdimensioniert; die Kosten sind ebenfalls höher als erwartet. Die dünnen Linien zeigen verschiedene mögliche Entwicklungsszenarien unter Einbezug der Prognoseunsicherheit. [5]



Gute Lösungen zeichnen sich weniger durch möglichst geringe Baukosten aus, sondern berücksichtigen den optimalen Nutzen für die gesamte Lebensdauer. Zur Unterstützung dieses Planungsprozesses beteiligt sich die Eawag an den beiden Forschungsprogrammen «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung» (NFP 54) und «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61) des Schweizerischen Nationalfonds.

Im bereits abgeschlossenen Projekt «Regionale Infrastruktur-Strategie» (RIF) erarbeiteten wir dabei zusammen mit den wichtigsten Entscheidungsträgern eine Strategie für die regionale Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft [6]. Wir ermittelten die wichtigen Wegweiser, an denen sich die detaillierteren Entscheidungen ausrichten sollen. Im Wesentlichen enthält die RIF zwei zentrale Elemente:

- Zukunftsszenarien beschreiben möglichst unterschiedliche Entwicklungen der wichtigsten Faktoren, welche die Siedlungswasserwirtschaft beeinflussen. Sie stellen die Zukunft bei unterschiedlicher ökonomischer Entwicklung dar – vom stürmischen Wachstum bis zum wirtschaftlichen Niedergang – und dienen als Grundlage für die Bewertung unterschiedlicher Handlungsalternativen.

- Handlungsalternativen: Mit einer systematischen Auslegung loteten wir für die lokale Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung die möglichen Entwicklungsoptionen aus. Diese beinhalten sowohl technische als auch organisatorische Elemente, zum Beispiel die Vergrösserung des Einzugsgebiets oder die Abwägung von zentraler versus dezentraler Entsorgung.

Basierend auf den Zielvorstellungen der Entscheidungsträger lassen sich nun die verschiedenen Handlungsalternativen unabhängig für alle Zukunftsszenarien bewerten. Damit kann jene Handlungsalternative ausgewählt werden, die von den Entscheidungsträgern favorisiert wird und möglichst robust gegenüber den verschiedenen Zukunftsszenarien ist.

Bei einer Fallstudie für das Kiesen- und Aaretal im Kanton Bern zeigte sich beispielsweise, dass bei der Abwasserreinigung eine sogenannte Schulterchlussstrategie verfolgt werden sollte, welche die Kläranlagenverbände der Region organisatorisch zusammenschliesst. Die gewählte Strategie ergab für alle Zukunftsszenarien eine mittlere bis hohe Wünschbarkeit seitens der Entscheidungsträger und stellte sich damit als robusteste Option heraus. Alle anderen Optionen erhielten bei mindestens einem Szenarium eine tiefe Bewertung und wiesen eine geringere Robustheit auf.

Nachhaltige Wasserinfrastruktur-Planung. Das Projekt «Nachhaltige Wasserinfrastruktur-Planung» (SWIP) quantifiziert die Auswirkungen konkreter Handlungsalternativen und Managementansätze und vergleicht diese mit den Zielen aller relevanten Akteure. Beispielsweise könnte ein grösserer Aufwand bei der Kanalisationssanierung die Wahrscheinlichkeit von Leitungsbrüchen vermindern und so Serviceunterbrüche vorbeugen. Es stellt sich nun die Frage, ob die Akteure willens sind, dafür mehr Geld zu bezahlen oder ob sie lieber mit häufigeren Ausfällen leben wollen.

Anhand von Fallstudien in mehreren Gemeinden sollen daraus ein optimierter Planungsprozess und eine konkrete Massnahmen-



Die ARA Mönchaltorf (ZH) ist Teil des SWIP-Projekts, bei dem gegenwärtig für die Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung verschiedener Gemeinden ein optimaler Planungsprozess festgelegt und eine konkrete Massnahmenplanung erarbeitet werden.

planung für Infrastrukturen der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung resultieren. Dabei streben wir ein Gleichgewicht der ökonomischen (Voraussage der Kosten), ökologischen (Auswirkungen auf Ökosysteme) und sozialen Aspekte (Wertvorstellungen der Akteure) an.

Besonders berücksichtigt wird, dass in vielen Schweizer Gemeinden genaue Daten zu den Infrastrukturen fehlen und dass zukünftige Entwicklungen nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden können. Die SWIP basiert auf den bestehenden Planungsinstrumenten wie der Generellen Entwässerungsplanung (GEP) oder der Generellen Wasserversorgungsplanung (GWP), welche Infrastrukturmängel in den Gemeinden identifizieren und Investitionspläne vorschlagen.

Neben dem regionalen Ansatz der RIF und SWIP untersuchen wir zurzeit Entwicklungstendenzen und Wissensdefizite auf nationaler Ebene. Die bereits abgeschlossene Studie «Trinkwasserversorgung 2025» sieht die Schweizer Trinkwasserversorgung auch in Zukunft gesichert. Forschungsbedarf ortet der Bericht aber zum Beispiel beim Einfluss des Klimawandels auf die Trinkwasserqualität und bei den strukturellen Erfordernissen für eine zukunftsfähige Wasserversorgung. Die entsprechenden Berichte und Empfehlungen stehen auf der Internetseite der Eawag zur Verfügung [7]. Die Arbeiten zur Studie «Abwasserentsorgung 2025» werden im Herbst 2011 abgeschlossen und ebenfalls im Internet publiziert.

Es gibt keine Standardlösung. Während heute in der Praxis der Werterhalt der bestehenden Infrastrukturen im Vordergrund steht, braucht es Methoden, um die Bedürfnisse der Zukunft besser zu erfassen und abzuschätzen. Nur auf diese Weise ist es möglich, die Leistungen der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft nachhaltig zu erhalten und zu optimieren.

Dazu sind Entscheidungsgrundlagen nötig zur Frage, welche Technologien und Systeme künftig eingesetzt werden sollen.

Wichtig und sinnvoll ist es auch, vollständig neue Konzepte wie dezentrale Systeme in die Beurteilung aufzunehmen. Speziell dezentrale Lösungen stellen aufgrund des technischen Fortschritts eine attraktive Zukunftstechnologie dar [8]. Wie solche Systeme aussehen könnten, zeigt der Artikel auf Seite 30.

Im Gegensatz zum reinen Werterhalt, der fast ausschliesslich technisches Know-how benötigt, soll eine nachhaltige Zukunftsplanung grundsätzliche Fragen und die Bedürfnisse aller Betroffenen und aller Akteure berücksichtigen. Ob die Abwasserreinigung an eine Nachbargemeinde übertragen oder der Gemeindebetrieb in eine Aktiengesellschaft überführt werden soll, sind typische organisatorische Überlegungen, die bei einem solchen Blick in die Zukunft auftauchen. So standen in einer Fallstudie im Schaffhauser Klettgau neben der ursprünglichen Frage, wie die Kläranlage ausgebaut werden solle, auch die Optionen einer Zusammenlegung mit dem deutschen Nachbarn oder einer vollständigen Dezentralisierung der Abwasserreinigung zur Diskussion.

Zusammengefasst geht es bei der Zukunftsplanung der Schweizer Siedlungswasserwirtschaft darum, das Wohin mit dem Wie zu verbinden. Wie können wir die gegenwärtigen Strukturen weiterentwickeln und wohin soll diese Entwicklung führen? Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich, dass es dafür keine Standardantwort für das ganze Land gibt. Vielmehr müssen wir lokal optimal angepasste Lösungen finden. ○ ○ ○

- [1] Schalcher H.-R., Boesch H.-J., Bertschy K., Sommer H., Matter D., Gerum J., Jakob M. (2011): Was kostet das Bauwerk Schweiz in Zukunft und wer bezahlt dafür? VDF Hochschulverlag, Zürich.
- [2] Maurer M., Herlyn A. (2006): Zustand, Kosten und Investitionsbedarf der schweizerischen Abwasserentsorgung. Schlussbericht für das Bundesamt für Umwelt.
- [3] Maurer M. (2009): Specific net present value – An improved method for assessing modularisation costs in water services with growing demand. *Water Research* 43 (8), 2121–2130.
- [4] Maurer M., Wolfram M., Herlyn A. (2010): Factors affecting economies of scale in combined sewer systems. *Water Science and Technology* 62 (1), 36–41.
- [5] Hug T., Dominguez D., Maurer M. (2010): The cost of uncertainty and the value of flexibility in water and wastewater infrastructure planning. *Proceedings 1st WEF-IWA Cities of the future conference*, Boston, 487–500.
- [6] Störmer E., Klinke A., Maurer M., Ruef A., Truffer B. (2008): Regional infrastructure foresight. Partizipative Strategieentwicklung für eine nachhaltige regionale Abwasserwirtschaft. *GWA* 88 (11), 843–850.
- [7] www.eawag.ch/forschung/sww/schwerpunkte/infrastrukturen/uebersichtsstudie_2025/index
- [8] Bauchowitz M. (2010): Dezentrale Abwasserreinigung – Modell der Zukunft? *Eawag News* 68d, 17–21.

Zusammen zu einer besseren Siedlungshygiene



Christian Zurbrugg, Geologe, leitet die Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern und ist Lehrbeauftragter an der ETH Lausanne.

Eine der wichtigsten Ursachen für Durchfallerkrankungen und eine hohe Kindersterblichkeit in Entwicklungsländern ist mangelnde Siedlungshygiene. Aufgabe angewandter Forschung ist es, technische und planerische Lösungen zu entwickeln, die den lokalen Gegebenheiten Rechnung tragen. Dies gelingt nur mit einer engen Zusammenarbeit mit Nichtregierungsorganisationen, der lokalen Bevölkerung und den Behörden.

Während Aids, Malaria und Tuberkulose die grosse Aufmerksamkeit der internationalen Gesundheitsexperten auf sich ziehen, tötet eine harmlos erscheinende Krankheit pro Jahr weltweit mehr Kleinkinder als all diese drei zusammen: Durchfall. Wären eine zuverlässige Siedlungshygiene und eine adäquate Trinkwasserversorgung sichergestellt, liessen sich jedoch rund 2,4 Millionen Todesfälle jährlich verhindern. Meist führt eine Durchfallerkrankung bei den Kleinkindern dann zum Tod, wenn sie mit einer darauffolgenden Unterernährung und einer allgemeinen Schwächung durch andere Krankheiten verbunden ist [1].

Eine sichere Entsorgung von Fäkalien und allgemein eine verbesserte Hygiene wären indes wirksame Massnahmen, um die Verbreitung von Krankheitskeimen und damit verbundene Durchfallerkrankungen zu verhindern (Abb. 1). Für den Grossteil der Weltbevölkerung stellt somit die Siedlungshygiene das prioritäre Ziel der Siedlungs- und Abwasserwirtschaft dar.

Mit der Bevölkerung planen, nicht nur für sie. Im Jahr 2000 unterzeichneten die UNO-Mitgliedstaaten mit der Millenniumserklärung einen globalen Pakt zur Bekämpfung der Armut. Im Bereich Siedlungshygiene und Wasserversorgung wollen sie demzufolge bis 2015 den Anteil der Weltbevölkerung ohne nachhaltigen Zugang zu sauberem Trinkwasser und zu einer sanitären Grundversorgung halbieren.

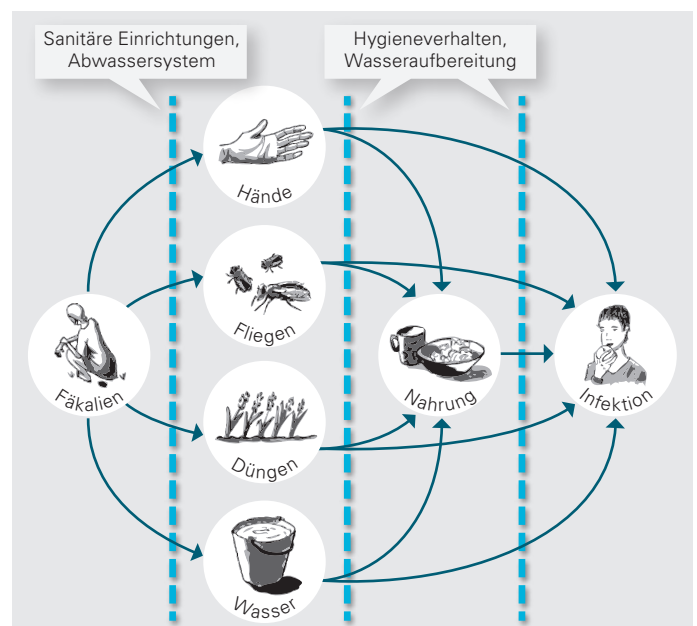
Obwohl einfach in der Formulierung, ist die Umsetzung dieses Ziels äusserst komplex. Ein erwarteter Zuwachs der Weltbevölkerung auf mehr als neun Milliarden bis zum Jahr 2050, ein im Vergleich zur globalen Wachstumsrate fast doppelt so hohes Wachstum der städtischen Bevölkerung und ein durchschnittlicher Anteil von 30 bis 50 Prozent Slumbewohner in den Städten der Entwicklungs- und Schwellenländer verlangen nach innovativen Ansätzen, nicht nur bei der gewählten Technologie, sondern auch bei der Planung, Finanzierung, Umsetzung und beim nachhaltigen Betrieb. Die angewandte Forschung muss hier einen grossen Beitrag leisten, um die Praxis und Politik mit lokal angepassten Lösungsansätzen zu unterstützen.

Bei der Konzeptionierung städtischer Abwasserinfrastrukturen in Entwicklungsländern entscheiden in der Regel Planerinnen und Ingenieure, welche Art von Infrastruktur und welche Dienst-

leistungen verfügbar sein sollen. Oft schlagen sie als technische Lösung ein Kanalisationsnetz mit Kläranlage nach europäischem Vorbild vor, ohne Rücksicht auf die lokalen Bedürfnisse und Möglichkeiten. Die Bevölkerung wird meist nicht in die Planung eingebunden, sondern bleibt passive Empfängerin einer von der Regierung zur Verfügung gestellten Einrichtung.

Für die personell schwach besetzten städtischen Entsorgungsbetriebe in Entwicklungsländern mit ihren limitierten finanziellen Mitteln ist es aber kaum möglich, ein Kanalisationsnetz in europäischem Stil zu betreiben und den Unterhalt sicherzustellen. Zudem lässt sich ein solches Netz bei raschem Städtewachstum nicht schnell genug erweitern, sodass in den Hauptleitungen und bei der Kläranlage über kurz oder lang Kapazitätsengpässe auftreten.

Abb. 1: Übertragungswege von Fäkalkeimen und Interventionen, die eine Übertragung unterbinden können. Bessere sanitäre Einrichtungen und ein Abwassersystem könnten diese direkt an der Quelle verhindern, während eine Wasseraufbereitung oder eine verbesserte Hygiene die Infektion beim Menschen reduzieren.





Die Bewohnerinnen und Bewohner des Armenquartiers Hatsady Tai in der laotischen Hauptstadt Vientiane bei der Instandstellung und Verbesserung ihres Abwassersystems.

Und was macht man, wenn Wasser eine Mangelware mit hohem Preis darstellt und der Zugang zu einer dauerhaften Wasserversorgung kaum gesichert ist? Eine Schwemmkanalisation, bei der Wasser zum Abtransport der menschlichen Ausscheidungen dient, kommt dann schnell zum Erliegen.

Um trotzdem eine sanitäre Versorgung einzelner Stadtquartiere gewährleisten zu können, müssen vermehrt flexible und alternative Lösungsansätze anvisiert werden – unter Beteiligung der ansässigen Bevölkerung und Kleinbetriebe. Bereits die von der UNO initiierte Internationale Wasserdekade (1981–1990) hat gezeigt, dass sich Infrastrukturen zur Wasser- und Sanitärversorgung meist nur längerfristig bewähren, wenn die direkten Benutzerinnen und Benutzer an der Planung und Entwicklung beteiligt werden [2].

Partizipatives Planen am Fallbeispiel lernen. Vor diesem Hintergrund hat die Eawag in einem Forschungsprojekt schon vor einigen Jahren einen Ansatz entwickelt, der die einzelnen Haushalte in die Planung miteinbezieht. Im Zentrum steht dabei der Gedanke, dass eine direkte Partizipation der Bevölkerung der Grundstein für ein kollektives Gefühl von Besitz und Verantwortung darstellt und dadurch langfristig tragfähige Lösungen hervorbringt. In Zusammenarbeit mit lokalen Organisationen und Behörden testeten Christoph Lüthi und seine Mitarbeitenden diesen Ansatz mithilfe von Pilotstudien in sieben Stadtquartieren in Kenia, Tansania, Laos, Nepal und Costa Rica und begleiteten ihn wissenschaftlich.

Hatsady Tai zum Beispiel ist ein typisches armes Quartier im Aussenbezirk der Hauptstadt Vientiane in Laos: Viele Gebäude wurden illegal auf öffentlichem Grund errichtet; 14,5 Prozent der Bewohnerinnen und Bewohner leiden vor allem aufgrund der schlechten sanitären Infrastruktur an Durchfallerkrankungen. Zusammen mit dem Public Works and Transportation Institute des Ministeriums für öffentliche Arbeiten und Transport und mit der lokalen Bevölkerung erarbeiteten wir in 18 Monaten ein Gesamtkonzept für eine verbesserte Siedlungshygiene von Hatsady.

Dieses umfasste unter anderem die Bewertung des derzeitigen Standes der städtischen Entsorgungsdienste, die Einschätzung der Nutzerprioritäten, das Identifizieren von Verbesserungsmöglichkeiten, die gemeinsame Evaluation möglicher Lösungen und die Ausarbeitung von Entsorgungsplänen.

Die konkrete Umsetzung dauerte nochmals vier Monate. Dabei wurden die bestehenden Abwassergruben saniert und zur besseren Trennung des Feststoffanteils zu zweikammerigen Faulgruben ausgebaut. Ein an die Faulgruben angeschlossenes feststofffreies Kanalnetz sollte den Flüssiganteil zur anaeroben Behandlung in Abwasserteiche leiten. Ein privater Dienstleister übernahm die Entsorgung des Fäkalschlammes aus den Faulgruben zur Weiterbehandlung in der zentralen städtischen Kläranlage.

Neben der Abwasserentsorgung war es wichtig, in diesem tiefliegenden und flachen Gebiet auch die Regenwasserableitung und die Sammlung von Siedlungsabfällen zu verbessern. Besonders förderte das Projekt die Sortierung des Abfalls in den Haushalten und die separate Einsammlung der verschiedenen Abfallarten.

Die Bewohnerinnen und Bewohner von Hatsady Tai beteiligten sich am gesamten Planungsprozess sehr aktiv. Ein Grossteil der Gemeinde nahm an Sitzungen und Anhörungen teil und drei Haushalte stellten auch einen Teil ihres Landes für den Bau der Anlage zur anaeroben Behandlung des Abwassers zur Verfügung. Verschiedene Hauseigentümer waren zudem bereit, ihre Häuser für den Bau der Kanäle umzubauen.

Mit dem Projekt hat sich die Siedlungshygiene von Hatsady Tai deutlich verbessert. So ist zum Beispiel die Anzahl der Überschwemmungen dank der neuen Regenwasserableitung merklich zurückgegangen und das Verbrennen von Siedlungsabfällen im Quartier kommt kaum mehr vor. Als Folge davon haben sich auch die Belästigung durch Rauch und Atemwegserkrankungen reduziert. Durch diese Erfahrung hat die lokale Bevölkerung aber vor allem erkannt, dass sie nicht allein auf den Goodwill der Behörden angewiesen ist, sondern erfolgreich selber Hand anlegen kann, um ihren Lebensraum aufzuwerten [3].

Aufgrund der Erfahrungen aus den verschiedenen Pilotprojekten entwickelten wir das Handbuch «Community-Led Urban Environmental Sanitation» für Planerinnen und Planer in Entwicklungsländern. Es bietet eine komplette Werkzeugkiste mit vielen Anleitungen für jeden Schritt des Planungsprozesses. Besonderes Augenmerk gilt den einkommensschwachen Gebieten, bei denen Verbesserungen der Siedlungshygiene immer noch eine sehr komplexe Angelegenheit darstellen.

Dezentrale Lösungen im Vorteil. In den grösseren Städten Asiens und Afrikas sind weniger als 20 Prozent der Haushalte an eine Kanalisation angeschlossen. In kleineren Städten fehlt eine Kanalisation meist gänzlich [4]. Hingegen verfügt fast jeder städtische Haushalt über eine dezentrale Lösung für Fäkalien- und Abwasserentsorgung: Grubenlatrinen oder Faulgruben dienen als Absetzbecken für die Fäkalien. Sie werden periodisch geleert und der Fäkalschlamm entsorgt. Die bestehende Infrastruktur gilt es in Konzepte zur Abwasserversorgung zu integrieren.

In Entwicklungsländern sind dezentrale Entsorgungsanlagen meist auch finanziell vorteilhaft, wie eine Untersuchung in Senegal zeigt. Für die Stadt Dakar verglichen Forschende der Eawag und der Universität Cheikh Anta Diop in Dakar die Kosten einer konventionellen Kanalisation mit zentraler Kläranlage und einer dezentralen Fäkalschlammensammlung mit zentraler Behandlung miteinander: Die Investitionskosten fallen für Erstere 11-mal höher aus als für Letztere. Sogar die Unterhaltskosten sind beim zentralen Kanalisationsnetz doppelt so hoch. Um ein solches System be-

Dank der neuen Regenwasserableitung gibt es in Hatsady Tai heute weniger Überschwemmungen.



Ein Grossteil der Gemeinde von Hatsady Tai beteiligte sich sehr aktiv am Planungsprozess für das verbesserte Abwassersystem.

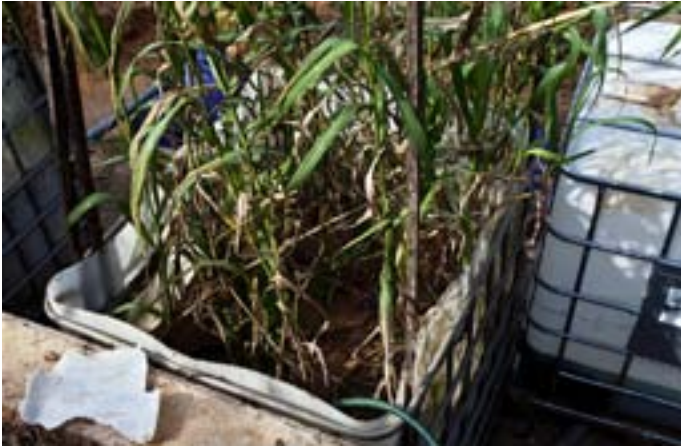
treiben zu können, erhebt die staatliche Entsorgungsbehörde von der gesamten Bevölkerung – also auch von jenen Haushalten, die gar nicht an die Kanalisation angeschlossen sind – eine Abwassergebühr. Müssten nur jene eine Gebühr zahlen, die tatsächlich an die Kanalisation angeschlossen sind, könnten die Einnahmen lediglich 20 Prozent der Betriebskosten decken.

Obwohl die dezentrale Fäkalschlammensammlung wesentlich billiger ist, lässt sich in Dakar doch auch dieses System zurzeit kaum kostendeckend umsetzen. Vielfach sind es private Unternehmer, die gegen eine Gebühr mit Hilfe von Absaugfahrzeugen die Fäkaliengruben leeren. Doch diese Gebühr ist aufgrund der geringen Zahlungsfähigkeit der Bevölkerung so tief angesetzt, dass dies kaum die Kosten für die Entleerung und den Transport deckt. Um Kosten zu sparen, entsorgen die Unternehmer den abgesaugten Fäkalschlamm daher oft unsachgemäss und ohne Rücksicht auf Umweltbeeinträchtigungen auf Feldern, in Depo-nien oder Flüssen.

Fäkalschlamm ist ein Wertstoff. Obwohl die Entsorgung von Fäkalschlamm weltweit übliche Praxis ist, erstaunt es, dass sich die Abwasserforschung diesem Thema kaum widmet. Die gut untersuchten Belebtschlammanlagen oder die für Entwicklungsländer angepassten Teichkläranlagen (waste stabilization ponds) sind bei der Beschickung mit grossen Mengen stark konzentrierten Fäkalschlammes schnell überlastet und eignen sich für die Weiterverarbeitung des Fäkalschlammes nicht.

Die Eawag arbeitet schon seit mehr als einem Jahrzehnt mit Universitäten und Forschungsanstalten von Entwicklungs- und Schwellenländern zusammen, um geeignete Behandlungstechnologien für Fäkalschlamm zu entwickeln. Verschiedene Technologien wie Absetzteiche, Ko-Kompostierung oder bepflanzte und unbepflanzte Trocknungsbeete wurden in Ghana, Senegal, Kamerun, Thailand und Vietnam getestet und näher untersucht. Der letztere Ansatz erscheint vielversprechend, doch lässt sich das geeignete Verfahren erst im lokalen Kontext eruieren.

Neben den verfahrenstechnischen Herausforderungen bei der Behandlung haben die Untersuchungen auch aufgezeigt, dass



Wertschöpfung: Auf getrocknetem Fäkalschlamm lässt sich Antilopengras anbauen, das als gefragtes Tierfutter verkauft werden kann.

dem Fäkalschlamm als Wertstoff mehr Aufmerksamkeit gebührt. Besonders in der stadtnahen intensiven Landwirtschaft mit ihren ausgelaugten Böden könnten die organische Substanz und deren Nährstoffe eine gefragte Ressource sein. Wenn Produkte aus der Fäkalschlammbehandlung kommerziell interessant sind, könnte die Siedlungshygiene auch für das Gewerbe attraktiv werden – was wiederum eine flächendeckende Abwasserbehandlung fördern würde.

Ansätze dazu gibt es. So konnten Forschende der Eawag zusammen mit Kollegen der Universität de Yaoundé, Kamerun, in einem Projekt in Yaoundé zeigen, dass sich auf Beeten aus getrocknetem Fäkalschlamm das einheimische Antilopengras (*Echinochloa pyramidalis*) anbauen lässt. Die Pflanze ist bei Viehhaltern ein gefragtes Tierfutter, da es wildem Gras in puncto Nährstoffe überlegen ist [5].

Ein weiterer vielversprechender Ansatz, aus Fäkalschlamm Wertschöpfung für das lokale Gewerbe zu generieren, stammt aus einem Projekt, das sich ursprünglich mit organischen Siedlungsabfällen befasste. Stefan Diener von der Abteilung Wasser und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern der Eawag konnte anhand einer Pilotanlage in Costa Rica zeigen, dass sich organischer Abfall mithilfe von Larven der Schwarzen Waffenfleie (*Hermetia illucens*) verwerten lässt. Die Larven bauen das organische Material schnell ab und entwickeln sich rasch zu sogenannten Präpuppen. Diese enthalten 40 Prozent Eiweiss und 30 Prozent Fett und sind eine nachhaltige Alternative zum heute in der Tierfuttermittelindustrie verwendeten Fischmehl. Zudem lassen sie sich sehr einfach ernten, da sie aus dem Abfall kriechen, sobald sie das Präpuppen-Stadium erreichen. Vor dem Hintergrund steigender Fischmehlpreise könnte dieses Produkt als Einkommensquelle zunehmend interessant werden [6].

Erste Untersuchungen der Eawag und des Asian Institute of Technology in Bangkok zeigen, dass das System auch mit getrocknetem Fäkalschlamm funktioniert. Dabei verfütterten die Forschenden den Larven entwässerten Schlamm aus Faulgruben mit einem Wassergehalt von 63 Prozent zusammen mit organischen Siedlungsabfällen in verschiedenen Mischverhältnissen. Obwohl

die Larven bei höherem Anteil an Fäkalschlamm weniger schnell wuchsen und weniger gross wurden, entwickelten sie sich gut und trugen in hohem Masse zur Reduktion des Fäkalschlammes bei. Weitere Untersuchungen sollen nun zeigen, ob und wie die Larven pathogene Keime im Schlamm abtöten.

Erforscht ist noch nicht angewendet. Die Forschung entwickelt im Bereich Siedlungshygiene zunehmend alternative Ansätze und technischen Lösungen, die sich speziell für Entwicklungsländer eignen. Doch sollten auch die lokalen Akteurinnen und Akteure – Unternehmer, Fachleute, Planer, Entscheidungsträger städtischer Behörden – auf dieses Wissen zugreifen und es für den jeweiligen ortsspezifischen Kontext anpassen und umsetzen können.

Dieser Wissenstransfer ist keine einfache Aufgabe. Die Eawag versucht einerseits, die lokalen Akteure möglichst schon bei Projekten miteinzubeziehen und andererseits, neben den üblichen wissenschaftlichen Publikationen die Praxis und Politik mithilfe von Kurzfilmen, Handbüchern oder Lernmaterialien besser zu erreichen. Statt die lokalen Akteure direkt anzusprechen, ist oft der Umweg über eine Partnerschaft mit Schlüsselorganisationen im entsprechenden Land oder mit international tätigen Nichtregierungs- und Entwicklungsorganisationen vielversprechend. Hierzu gehört auch die schweizerische Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (Deza), die nicht nur die Forschung seit Langem fördert, sondern gleichzeitig auch deren Resultate in ihre Projekte aufnimmt oder über ihre Länderkoordinationsbüros weiterverbreitet. Auf diese Weise wird die Forschung zu einer wichtigen Schnittstelle zwischen Innovation und Praxis und kann der Rolle gerecht werden, mit neuen Ansätzen zu einer besseren Siedlungshygiene und zur Armutsbekämpfung beizutragen. ○○○

- [1] Bartram J., Cairncross S. (2010): Hygiene, sanitation, and water – forgotten foundations of health. *PLoS Medicine* 7 (11), e1000367, doi: 10.1371/journal.pmed.1000367.
- [2] Lewis W.J., Foster S.S.D., Read G.H., Schertenleib R. (1981): The need for an integrated approach to water supply and sanitation in developing countries, *Science of the Total Environment* 21 (Nov), 53–59.
- [3] Lüthi C., Morel A., Kohler P., Tilley E. (2009): People's choice first. A 4-country comparative validation of the HCES planning approach for environmental sanitation. *NCCR North-South Dialogue*, No. 22.
- [4] Strauss M., Larmie S.A., Heinss U., Montangero A. (2000): Treating faecal sludges in ponds, *Water Science and Technology*, 42 (10–11), 283–290.
- [5] Kengne I.M., Amougou A., Soh E.K., Tsama V., Ngoutane M.M., Dodane P.H., Koné D. (2008): Effects of faecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch. and Chase and *Cyperus papyrus* L. *Ecological Engineering* 34 (3), 233–242.
- [6] Diener S., Zurbrügg C., Tockner K. (2009): Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research* 27 (6), 603–610.

Cleantech für die Abwasserreinigung der Zukunft



Tove A. Larsen, Chemie-Ingenieurin, arbeitet in der Abteilung Siedlungswasserwirtschaft und leitet zusammen mit Judit Lienert das Projekt Novaquatis.

Umwelt- und ressourcenschonende Technologien in der Abwasserreinigung müssen auch eine optimale Nutzung der Ressourcen im Abwasser einschliessen. Völlig neue Konzepte wie die Separierung des Urins direkt an der Quelle und die Aufbereitung von dessen Nährstoffen zu Dünger weisen in eine Zukunft jenseits der konventionellen Kläranlage und Kanalisation.

Mit dem Masterplan Cleantech Schweiz will der Bund jene Technologien stärken, die zur Erhaltung der natürlichen Ressourcen und der Umwelt beitragen. Neben der Entlastung der Umwelt soll die Initiative die Exportindustrie und deren Innovationskraft fördern. Für die Forschung fordert der Masterplan eine Stärkung der Wissensbasis auf dem Gebiet der Cleantech und eine Verbesserung des Wissens- und Technologietransfers zwischen Hochschulen und der Wirtschaft (www.cleantech.admin.ch/cleantech).

Die Eawag stellt sich seit Langem die Frage, wie eine ressourcenschonende Abwasserreinigung aussehen könnte und wo dafür Märkte bestehen. Inzwischen haben wir begonnen, solche Technologien zu entwickeln und industrielle Partner für eine Markteinführung zu suchen.

Ressourcen in der Siedlungswasserwirtschaft. Die Forschung im Bereich ressourcenorientierter Siedlungswasserwirtschaft an der Eawag war in den letzten Jahren stark von den globalen Ressourcenfragen geprägt, da die Schweizer Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung im internationalen Vergleich einen hohen Standard aufweisen und die Qualität der Gewässer hervorragend ist. Daneben war und ist es allerdings das Ziel, über die globalen Probleme ebenso für die Schweiz günstigere und bessere Lösungen zu finden [1].

Die Schlagworte aus dem Cleantech-Masterplan wie Rohstoffknappheit, effiziente Verfahren, Schadstoffbelastung und Wirtschaftlichkeit lassen sich auch auf die Siedlungswasserwirtschaft übertragen. Verglichen mit der Produktion von Gütern sind die Anforderungen an die nachhaltigen Umwelttechnologien aber

komplexer: Es geht nicht nur um die Optimierung des Ressourceneinsatzes bei der Abwasserbehandlung und die Wirtschaftlichkeit, sondern auch um die optimale Nutzung der Ressourcen im Abwasser und den Schutz der natürlichen Ressourcen wie Gewässer und Atmosphäre (Abb. 1). Bis heute beschränken sich die meisten Ansätze leider nur auf einen Teil des Systems Abwasser und blenden die anderen Aspekte aus. Nötig ist aber eine Abkehr von diesem sektoriellen Denken hin zu einem ganzheitlichen Ansatz, der die Optimierung aller Bereiche und Ressourcen einschliesst. Erst dadurch können wir den Anspruch erheben, nachhaltige Technologien zu entwickeln.

Nährstoffelimination wenig effektiv. Der konventionelle «End of pipe»-Ansatz basiert auf der Ableitung gemischten Abwassers aus Haushalten und Industrie über die Kanalisation und der anschliessenden zentralen Reinigung dieses Abwassers in Kläranlagen. In den letzten Jahren konnten viele Probleme dieses Ansatzes aufgezeigt werden. So widmete sich zum Beispiel ein Grossteil der abwasserrelevanten Forschung der Nährstoffelimination in Kläranlagen, um eine Eutrophierung der Gewässer durch Stickstoff und Phosphor zu vermeiden. Eine neuere Studie weist aber nach, dass die Beseitigungsbemühungen beim Stickstoff und Phosphor weltweit gesehen wenig bringen und nur ein verschwindend kleiner Anteil dieser Nährstoffe aus dem Abwasser entfernt wird (Abb. 2). Dies wird wohl in den folgenden Jahrzehnten auch so bleiben. Obwohl die Autoren schätzen, dass die Kapazität der Kläranlagen zur Entfernung von Nährstoffen vom Jahr 2000 bis 2050 vervierfacht wird, reicht das bei Weitem nicht aus, um die durch Bevölkerungswachstum und bessere Ernährung erhöhten Nährstoffeinträge ins Abwasser zu bewältigen. In Modellrechnungen konnten die Forschenden zeigen, dass sich die resultierenden Emissionen von Stickstoff und Phosphor aus dem Abwasser in diesem Zeitraum fast verdoppeln werden. Kläranlagen und ein Kanalisationsnetz zu bauen, ist teuer und ein langwieriges Unterfangen – und vor allem in schnell wachsenden Städten praktisch oft gar nicht möglich.

Vermehrte Wasserknappheit in Zukunft. Der Cleantech-Masterplan geht davon aus, dass aufgrund des Klimawandels viele

Abb. 1: Bei der Entwicklung nachhaltiger Technologien in der Siedlungswasserwirtschaft gilt es, verschiedene Arten von Ressourcen zu berücksichtigen.

Im Abwasser	In der Abwasserbehandlung
Wasser Energie Nährstoffe etc.	Energie Chemikalien etc.
Natürliche	Anthropogene
Gewässer Böden Atmosphäre etc.	Kapital Institutionen Akzeptanz etc.



Trockentoilette mit Urinseparierung: Die innovative Technologie dieser Latrine im südafrikanischen Durban offenbart sich erst bei genauerem Hinsehen.



eThekwin Water Services

Ressourcen in Zukunft knapp werden könnten. Dies gilt in besonderem Masse für das Wasser. Je nach Klimaszenarium prognostizieren Experten zum Beispiel, dass 2020 weltweit zwischen 3,2 und 4,6 Milliarden Menschen unter ernsthaftem Wassermangel ($< 1000 \text{ m}^3/\text{Person}/\text{Jahr}$) leiden werden und sich diese Zahl bis 2050 sogar auf 4,9 bis 6,9 Milliarden erhöht [3]. Zum Vergleich: Heute leben rund 1,6 Milliarden Menschen in solch prekären Verhältnissen, während in der Schweiz pro Person und Jahr noch 6500 Kubikmeter Wasser zur Verfügung stehen.

Fachleute diskutieren bereits darüber, wie man mit diesem zukünftigen Wassermangel umgehen kann. Aufschlussreich ist dabei eine Studie aus Australien, in der die Konsequenzen für den Energieverbrauch der Wasserversorgung in 2030 untersucht wurden [4]. Wird der durch das Bevölkerungswachstum erhöhte Wasserbedarf mittels technischer Massnahmen gedeckt (zum Beispiel durch die Entsalzung von Meerwasser oder die Wieder-

verwendung gereinigten Abwassers), könnte der Verbrauch an Primärenergie für die Wasserversorgung demnach im schlimmsten Fall bis um den Faktor 5 auf über 200 Watt Dauerleistung pro Person ansteigen. Mit der 2000-Watt-Gesellschaft, wie sie sich etwa die Stadt Zürich zum Ziel genommen hat, ist eine solche Entwicklung natürlich nicht vereinbar.

Wasser sparen scheint also das Gebot der Stunde zu sein. So käme Australien bei einer Halbierung seines gegenwärtigen Wasserverbrauchs von 300 auf 150 Liter pro Person und Tag auch 2030 mit den vorhandenen Wasserressourcen aus. Und erste Erfahrungen lehren, dass dies auch möglich ist. So verzeichnen Industrie und Haushalte eindruckliche Fortschritte im Bereich der Wassereffizienz, auch in der Schweiz.

Korrosionsschäden bei zu wenig Wasser. Das gängige Abwassermanagement, wie es die Industrieländer praktizieren, ver-

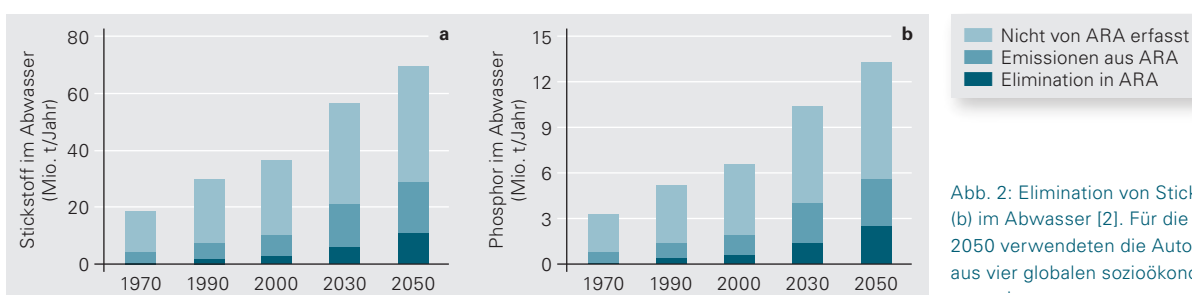


Abb. 2: Elimination von Stickstoff (a) und Phosphor (b) im Abwasser [2]. Für die Prognosen für 2030 und 2050 verwendeten die Autoren Durchschnittswerte aus vier globalen sozioökonomischen Zukunftsszenarien.



Im Labor forscht Verfahrenstechniker Kai Udert an verschiedenen Reaktoren, um Nährstoffe und Verunreinigungen aus dem Urin abzutrennen.

braucht jedoch grosse Mengen Wasser. So benötigt es in der Kanalisation eine minimale Strömung, um die Stoffe im Abwasser überhaupt zuverlässig bis zur Kläranlage zu transportieren.

Was geschehen kann, wenn in einer Kanalisation zu wenig Wasser fliesst, zeigen Erfahrungen aus Phoenix, Arizona, eindrücklich [5]. Wegen Wassermangel zweigte man dort Wasser direkt aus der Kanalisation ab, ohne die Schmutzstoffe jedoch aus dem Leitungssystem zu entfernen. Das konzentrierte Abwasser wurde daraufhin anaerob und es entstand Schwefelwasserstoff, wie es auch aus Druckleitungen bekannt ist. Der gasförmige Schwefelwasserstoff reagierte an der nicht benetzten Oberfläche der Kanalisation mit Sauerstoff zu Schwefelsäure und verursachte grosse Korrosionsschäden am Leitungssystem.

Um Kanalisationen auch bei wenig Wasser funktionsfähig zu halten und solche Korrosionsschäden zu verhindern, gibt man dem Abwasser heute in einigen Fällen sogar Nitrat zu. Damit verschärft man aber die negativen Auswirkungen nur, welche die bereits hohe Stickstoffbelastung aus Abwasser und aus der Landwirtschaft verursachen, generiert neue unbeabsichtigte Probleme (zum Beispiel bei der Denitrifikation in der Kläranlage) und einen höheren Betriebsaufwand durch die Dosierung des Nitrats [6].

Es stellt sich also die Frage, ob es sinnvoll ist, in Gebieten mit zukünftigem Wassermangel überhaupt ein Kanalisationsnetz aufzubauen, das möglicherweise nie richtig funktionieren wird, weil das Wasser dafür nicht ausreicht.

Vom Urin zum Dünger. Was gäbe es für Alternativen? Mit dem Projekt Novaquatis arbeitet die Eawag schon seit einiger Zeit an völlig neuen Konzepten der Abwasserbehandlung, um die verschiedenen Aspekte der Ressourcenknappheit anzugehen [7]. Sie basieren auf einer Trennung der Abwasserströme direkt an der Quelle (siehe Kasten). Mit diesem Ansatz lassen sich ressourcenschonende Verfahren, zum Beispiel zur Rückgewinnung von Nährstoffen oder zur Verringerung des Wasserverbrauchs, einfacher integrieren als bei gemischtem Abwasser am Ende der Leitung.

Wie bei allen grundsätzlichen Veränderungen in einem gut etablierten System braucht es Zeit, bis sich diese neuen Ideen durchsetzen. Gegenwärtig werden sie vor allem dort nachgefragt, wo die Ressourcen schon heute knapp sind und eine Schwemmkanalisation nach westeuropäischem Muster keine mögliche Lösung bietet, zum Beispiel in einzelnen Stadtteilen von Durban, Südafrika.

Die Eawag arbeitet dort im Projekt Vuna (www.eawag.ch/vuna), das auf den Erfahrungen von Novaquatis aufbaut, mit der lokalen Wasserversorgung von eThekweni und der University of KwaZulu-Natal zusammen. Durban ist eine Region mit einem grossen und schnell wachsenden Bevölkerungsteil, der nicht an ein Kanalisationsnetz mit einer zentralen Kläranlage angeschlossen ist. Für diesen Teil der Bevölkerung soll die Abwasserentsorgung in Zukunft über Trockentoiletten mit Urinseparierung erfolgen. In Kleinreaktoren sollen aus dem Urin zudem die Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium zurückgewonnen und zu Dünger aufbereitet werden. Heute versickert der Urin ungenutzt und gefährdet dabei die Wasserversorgung aus einem nahe gelegenen See.

Die Technologie, die im von Kai Udert geleiteten Vuna-Projekt entwickelt wird, besteht aus einer biologischen Teilnitrifikation des Ammoniums im Urin zu Ammoniumnitrat, gefolgt von einer Eindampfung. Als Produkt entsteht ein Urindünger, bestehend aus Ammoniumnitrat und weiteren düngerwirksamen Elementen wie Phosphor und Kalium. Schon nach der kurzen Projektdauer steht fest, dass die Technologie im Labor im Prinzip funktioniert und man damit Dünger produzieren kann. Wie sich dies in die Praxis umsetzen lässt, wird der weitere Verlauf weisen.

Der Prozess weist bereits eine vernünftige Energiebilanz auf, obwohl noch Optimierungsbedarf besteht, bevor er mit gross-technischen Entsorgungsanlagen konkurrieren kann (Tab. 1). Solche kommen in armen Gebieten schon aus Kostengründen aber nicht infrage. Bei kleinen dezentralen Anlagen bestehen hingegen gute Möglichkeiten, den Energiebedarf durch Sonnenenergie abzudecken.

Urinseparierung: Nährstoffe zurückgewinnen

Die Abtrennung von Urin direkt in der Toilette ist eine konzeptuell einfache Technologie. Zum Beispiel kann er mit einem speziellen NoMix-WC abgefangen und separat abgeleitet werden. Weil die meisten abwasserrelevanten Nährstoffe aus dem Urin stammen, kann eine separate Aufbereitung des Urins die ganze Nährstoffelimination in der Kläranlage ersetzen. Zudem erlaubt die konzentrierte Nährstofflösung eine Aufbereitung der Nährstoffe zu Dünger und hilft dadurch mit, den Nährstoffkreislauf zu schliessen. Im Eawag-Projekt Novaquatis wurden die Chancen und Risiken dieser Technologie intensiv erforscht.

www.novaquatis.eawag.ch

	Stickstoff (N)	Phosphor (P)	N + P
Energiewert des Düngers	-5,2	-0,34	-5,5
Energie Abwasserreinigung (grosse Anlage)	-5,2	-0,57	-5,8
Energie Nitrifikation (kleine Anlage)	2,1		9,0
Energie Verdampfung (Rückgewinnung von 85 % der Energie)			20,0
Summe (Watt/Person)			17,7

Tab. 1: Energiebilanz der Nitrifikation und Verdampfung von Urin (Primärenergie in Watt/Person). Dabei wird angenommen, dass pro Person und Tag 1,5 l Urin mit 10 g Stickstoff und 1 g Phosphor anfällt [8]. Die eingesparte Energie ist negativ aufgeführt.

Der Erfolg ist eine Frage der Wirtschaftlichkeit. Letztlich wird aber die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens entscheidend sein dafür, ob die Technologie wirklich zum Einsatz kommt. Daher untersuchen die Vuna-Forschenden, ob die aus dem Urin gewonnenen Nährstoffe einen wesentlichen wirtschaftlichen Anreiz darstellen, die sanitären Einrichtungen zu benutzen und zu unterhalten. Der grob abgeschätzte monetäre Wert von aus Urin gewonnenen Nährstoffen zum Beispiel scheint auf den ersten Blick gering, ist aber im Vergleich mit den Kosten für die Abwasserreinigung in Entwicklungsländern doch bedeutend (Tab. 2). Einen grossen Unsicherheitsfaktor bei dieser Abschätzung stellen allerdings zum einen die stark variierenden Weltmarktpreise dar. Waren Anfang des letzten Jahrzehnts die Preise noch stabil und sehr tief, erleben wir seit einigen Jahren grosse Preisschwankungen, die vor allem eine grössere Nachfrage spiegeln. Stickstoff als Ammoniumnitrat ist zudem zweimal so teuer wie in Form von Ammoniak. Zum anderen mussten aufgrund von mangelnden Angaben zur Nährstoffausscheidung in Afrika Daten aus Europa verwendet werden.

Aus technischer Sicht dominieren im Vuna-Projekt im Moment die Bestrebungen, ein sicheres Produkt herzustellen. Messungen am Fraunhofer-Institut Pfinztal haben ergeben, dass das Düngerprodukt ähnliche Eigenschaften wie reines Ammoniumnitrat aufweist. Und dieses ist thermisch instabil. Kochsalzrückstände und Verunreinigungen mit organischen Stoffen verringern die Stabilität zusätzlich. Da das Düngerprodukt aus Urin weniger als 28 Prozent Stickstoff enthält, würde es eigentlich schon die gesetzlichen

Tab. 2: Grobe Abschätzung des Geldwerts der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium im Urin in US-Cents pro Person und Tag in Afrika. Annahmen: Pro Person und Tag werden 10 g Stickstoff, 1 g Phosphor und 2,5 g Kalium mit dem Urin ausgeschieden; der Ladenpreis beträgt das 2,7-fache des Weltmarktpreises [9].

	2000 (tief)	2011 (1. Quartal)	2008 (maximal)
Stickstoff (N)	0,97	2,3	5,8
Phosphor (P)	0,16	0,58	1,0
Kalium (K)	0,14	0,51	1,1
Total (US-Cent)	1,3	3,4	7,9

Vorschriften der Schweiz und der EU erfüllen. Trotzdem arbeitet die Eawag daran, die thermische Stabilität durch die Entfernung von organischen Stoffen und vielleicht auch Kochsalz noch mehr zu erhöhen. Dadurch wäre der Dünger zudem lagerfähiger und mögliche negative Wirkungen von Medikamentenrückständen und Kochsalz auf die Landwirtschaft könnten vermieden werden.

Sowohl bei der Nitrifikation als auch bei der Eindampfung bestehen Kontakte zu Firmen, die Interesse haben, entsprechende Reaktoren zu entwickeln und produzieren. Dies deutet darauf hin, dass auch in der Praxis das Potenzial der Urinseparierung und das damit verbundene Nährstoffrecycling langsam, aber sicher erkannt wird. Dabei sind vorerst die internationalen Märkte von Bedeutung, wo die Nachfrage nach innovativen Lösungen im Bereich Abwasserentsorgung am grössten ist. Aber allenfalls werden auch in der Schweiz solche Konzepte irgendwann spruchreif. Hierzulande warten wir einstweilen noch auf ausgereifte NoMix-Toiletten, die grössere Pilotprojekte in Privathaushalten zulassen würden. Ein konkretes Entwicklungsprojekt der Sanitärindustrie läuft. ○○○

- [1] Larsen T.A., Gujer W. (1999): Massnahmen an der Quelle – auch im Haushalt. *Eawag News 48d*, 6–7.
- [2] Van Drecht G., Bouwman A.F., Harrison J., Knoop J.M. (2009): Global nitrogen and phosphate in urban wastewater for the period 1970 to 2050. *Global Biogeochemical Cycle 23*, GB0A03, doi:10.1029/2009GB003458.
- [3] Alcamo J., Flörke M., Märker M. (2007): Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal 52 (2)*, 247–275.
- [4] Kenway S.J., Priestley A., Cook S., Seo S., Inman M., Gregory A., Hall M. (2008): Energy use in the provision and consumption of urban water in Australia and New Zealand. *Water for a healthy country national research flagship*, CSIRO Australia and Water Services Association of Australia.
- [5] Ablin R.L., Kinshella P. (2004): DUDE, where's my pipe – Accelerated corrosion rate threatens Phoenix sewers. In *Proceedings of the ASCE Pipeline Division Specialty Congress – Pipeline Engineering and Construction*, 843–850.
- [6] Larsen T.A. (in press): Redesigning wastewater infrastructure to improve resource efficiency. *Water Science and Technology*.
- [7] Larsen T.A., Lienert J. (2007): NoMix unter der Lupe. *Eawag News 63d*, 4–7.
- [8] Maurer M., Schwegler P., Larsen T.A. (2003): Nutrients in urine: Energetic aspects of removal and recovery. *Water Science and Technology 48 (1)*, 37–46.
Hofstetter A. (2010): Life cycle assessment of processes for nitrogen removal and recovery from source separated urine. Masterarbeit Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETHZ.
- [9] Gregory D.I., Bumb B.L. (2006): Factors affecting supply of fertilizer in Sub-Saharan Africa. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, Washington.



Jukka Jokela ist Mitglied der Eawag-Direktion und Professor für aquatische Ökologie an der ETH Zürich. Koautorin: Kirstin Kopp.

Global denken, lokal handeln

Die aquatischen Umweltwissenschaften stehen heute vor der grossen Herausforderung, die Lebensräume der Binnengewässer zu renaturieren, damit deren Ökosystemdienstleistungen auch für künftige Generationen zur Verfügung stehen. Dabei spielen lokale Populationen eine zentrale Rolle. Denn sie bilden das Fundament eines funktionierenden Ökosystems.

Die Binnengewässer sind die am stärksten gefährdeten Ökosysteme weltweit. Das gilt auch für die Schweiz, wo Fließgewässerkorrekturen, intensive Landschaftsnutzung und Umweltverschmutzung den Charakter der Süswassersysteme so stark verändert haben, dass der natürliche Zustand praktisch nicht mehr existiert. Heute setzen der Klimawandel und damit verbunden voraussichtlich steigende Durchschnittstemperaturen, saisonale Wasserknappheit und vermehrte Extremwetterereignisse die Ökosysteme zusätzlich unter Druck.

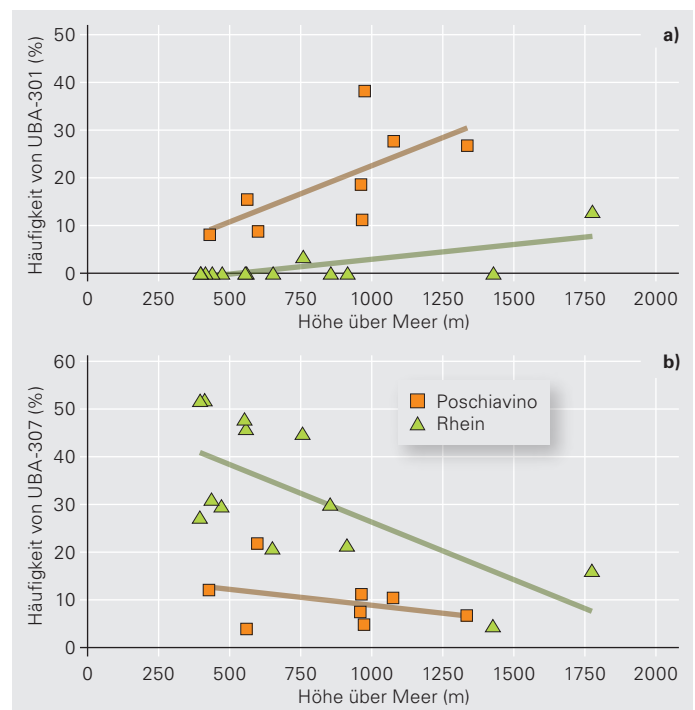
Vielfalt heisst Anpassungsvermögen. In Bezug auf den Schutz und die Aufwertung der Wasserlebensräume stellen sich für die aquatische Ökologie folgende Schlüsselfragen: Inwieweit können sich Ökosysteme anpassen und den Wandel der Umwelt ausgleichen? In welchem Mass wirken sich lokale Renaturierungsmaßnahmen auf umliegende Gebiete aus? Wie lange dauert es, bis sich nach einer Renaturierung wieder ein naturnaher Zustand einstellt? Wo sind im Hinblick auf beschränkte Ressourcen Prioritäten zu setzen? Um diese Fragen beantworten zu können, müssen wir speziell die Prozesse auf der Ebene der lokalen Populationen verstehen. Denn sie bilden das Fundament eines funktionierenden Ökosystems. Alle relevanten ökologischen und evolutionären Prozesse finden innerhalb solcher Populationen statt. Eine Population ist definiert als Gruppe sich miteinander fortpflanzender Individuen. Solche Gruppen voneinander abzugrenzen ist oft schwierig, doch die Methoden der ökologischen Genetik helfen uns dabei.

Dank ökologischer und genetischer Diversität können lokale Populationen sich bis zu einem gewissen Grad an sich verändernde Umweltbedingungen anpassen und Stressfaktoren abfedern. Damit tragen sie grundlegend zur Stabilität eines Lebensraums und zur Gewährleistung der Ökosystemdienstleistungen bei. Aus diesem Grund muss die Aufrechterhaltung der lokalen Vielfalt ein Kernanliegen einer zeitgemässen Naturschutzbiologie sein. Dieser Ansatz widerspricht aber der Vorstellung, dass der Schutz von Ökosystemen eine Konservierung der Vergangenheit ist. Stattdessen fördert er die evolutive Dynamik, die zur Anpassung an neue Bedingungen beitragen kann.

An die Höhenlage angepasste Fische. Bei der Erfassung der genetischen Populationsstruktur mehrerer Gruppen von Süswasserorganismen in der Schweiz haben Wissenschaftler der Eawag entdeckt, dass Populationen sogar über kurze Distanzen sehr stark genetisch differenziert sein können. In anderen Worten: Die Schweiz beherbergt bei vielen Schlüsselarten wichtige lokale Rassen – eine überraschende und teilweise neue Erkenntnis.

Genetische Drift und natürliche Selektion (siehe Glossar) sind zwei evolutive Mechanismen, die genetische Unterschiede zwischen Populationen hervorbringen. Zusätzlich können auch

Abb 1: Lokale Anpassung der Bachforelle (*Salmo trutta*) an die Höhenstufen in zwei Schweizer Flusseinzugsgebieten. Mit zunehmender Höhe nimmt die Häufigkeit der Genvariante UBA-301 in den Populationen im Rhein und Poschiavino zu (a) und jene von UBA-307 ab (b).



kleinräumig variierende Umweltbedingungen und ökologische Wechselwirkungen zu lokalen genetischen Anpassungen führen. Ein bemerkenswertes Beispiel für lokale Anpassungen fanden die Eawag-Forschenden Irene Keller, Andreas Taverna und Ole Seehausen bei ihren Untersuchungen bei der Bachforelle (*Salmo trutta*) in der Schweiz [1]. Demnach besitzen hochgelegene Populationen Genvarianten, die für das Leben in der Höhe vorteilhaft zu sein scheinen und Populationen aus tieferen Höhenlagen fehlen. Dieses Muster fanden die Forschenden in mehreren Flusseinzugsgebieten der Schweiz. Das deutet darauf hin, dass sich die Bachforellen an Umweltparameter angepasst haben, die mit der Höhenlage korrelieren (Abb. 1).

Das Beispiel zeigt, dass die unmittelbare Umwelt neue und lokal beschränkte genetische Variation erzeugen kann. Es ist daher unerlässlich, dass die Renaturierungsbemühungen solche genetische Vielfalt zu bewahren versuchen, da diese den Rohstoff für die Anpassung an verändernde Umweltbedingungen darstellt. Die genetische Differenzierung lokaler Populationen sollte auch bei Besatzmassnahmen berücksichtigt werden.

Dank moderner genetischer Methoden ist es möglich geworden, diese verborgene Biodiversität sichtbar zu machen. Es ist anzunehmen, dass weitere Untersuchungen in diesem Bereich bei diversen anderen Arten ebenfalls solche lokalen Anpassungen ans Licht bringen. Diese Informationen sollten dazu dienen, die Managementprotokolle bei Naturschutzmassnahmen zu verbessern.

Wiederbesiedlung dank lokalen Populationen. Jede Art besteht aus vielen lokalen Populationen, die miteinander verbunden sind und auf diese Weise Netzwerke formen, in denen ein mehr oder weniger reger Austausch stattfindet. So gehören zum Beispiel verschiedene Fischpopulationen innerhalb eines Flusseinzugsgebietes eher zum gleichen Netzwerk als Populationen aus einem anderen Einzugsgebiet. Solche Netzwerke nennt man Metapopulationen.



Das Val Roseg im Kanton Graubünden ist ein typischer Lebensraum der alpinen Köcherfliege (*Allogamus uncatus*). Die Populationen leben sowohl in temporären als auch in dauerhaften Bereichen der Oberläufe alpiner Fließgewässer.

Lisa Shama, Karen Kubow und Chris Robinson von der Eawag haben Metapopulationen der alpinen Köcherfliege *Allogamus uncatus* untersucht [2,3]. Die Köcherfliegen leben in langsam fließenden Bereichen des alpinen Oberlaufs von Fließgewässern. Die Art überwintert als Larve und durchläuft im nächsten Jahr mehrere Larvenstadien, bevor im Herbst ein geflügeltes Adulttier schlüpft, das sich aktiv verbreiten kann. In jedem Alpen-tal können Dutzende von mehr oder weniger isolierten Populationen in dauerhaften oder temporären Bereichen des Bachlaufs angesiedelt sein. Anhand genetischer Studien untersuchte das Forscherteam die nähere und fernere Vergangenheit von verschiedenen Metapopulationen aus verschiedenen Tälern Graubündens und des Wallis mit dem Ziel, die genetischen Effekte des

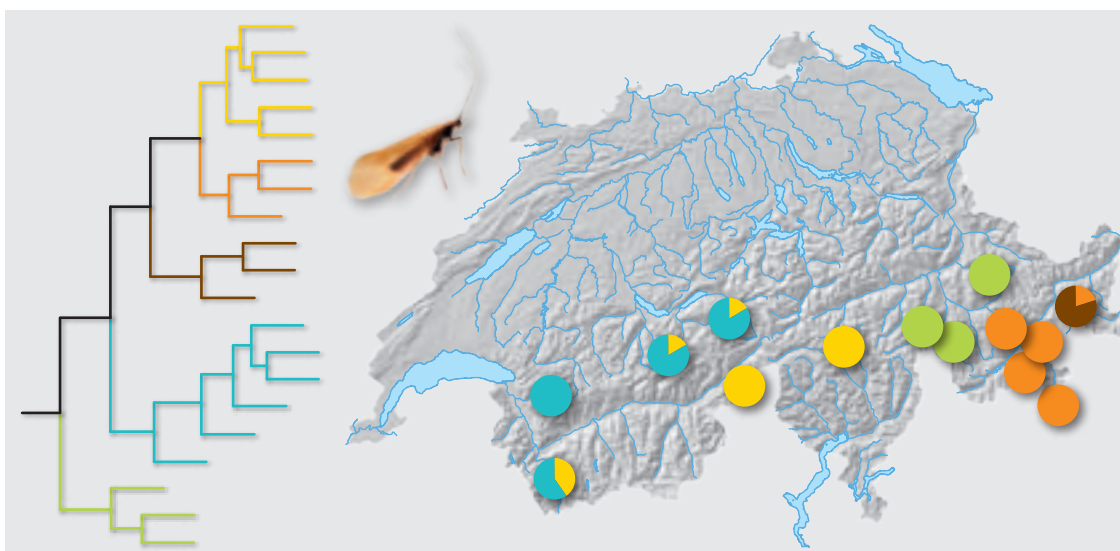


Abb. 2: Genetische Differenzierung der alpinen Köcherfliege (*Allogamus uncatus*) anhand einer sich langsam verändernden Genregion. Die geografische Verteilung der fünf Gruppen lässt darauf schließen, dass die Alpentäler nach der letzten Eiszeit aus verschiedenen eiszeitlichen Rückzugsgebieten besiedelt wurden. Das Baumdiagramm zeigt die genetische Verwandtschaft der Populationen; die Kreisdiagramme zeigen die relative Häufigkeit der gefundenen Genvarianten in der jeweiligen Gruppe.



Die alpine Köcherfliege (*Allogamus uncatus*) kommt in den Alpentälern in dauerhaften oder temporären Gewässern in mehr oder weniger isolierten Populationen vor, wobei diese lokal öfters aussterben.

Jahrhundertsommers von 2003, als auch dauerhafte Bachläufe austrockneten, zu verstehen.

Die Untersuchung einer sich während der Evolution wenig verändernden (konservierten) Gensequenz zeigte, dass es in den verschiedenen Tälern fünf deutlich unterschiedliche *Allogamus*-Gruppen gibt. Die geografische Verteilung und das genetische Muster dieser Metapopulationen legen nahe, dass die Täler nach dem Ende der letzten Eiszeit von isolierten Populationen aus verschiedenen glazialen Refugien wiederbesiedelt wurden und dies zu der ausgeprägten genetischen Individualität der Täler führte (Abb. 2).

Um die jüngere demografische Geschichte zu rekonstruieren, verwendeten die Wissenschaftler sogenannte neutrale genetische Marker, da diese im Gegensatz zu einer konservierten Gensequenz sozusagen ein Bild mit höherer Auflösung zeichnen. Demnach waren die einzelnen Metapopulationen vor dem ungewöhnlich heißen Sommer 2003 über einen genetischen Austausch miteinander verbunden, obwohl einige der untersuchten Täler bis zu 165 Kilometer voneinander entfernt liegen.

Dieses Bild änderte sich nach der Dürre von 2003 schlagartig. Die Bestände vieler Metapopulationen wurden drastisch dezimiert und nur ein kleiner Teil der Individuen überlebte. Ein solcher einschneidender Rückgang in der Populationsgrösse führt zu einem sogenannten genetischen Flaschenhals: Mit dem Verlust der meisten Individuen geht ein Grossteil der genetischen Diversität in der Population verloren. Durch die genetische Drift verstärkt, unterscheiden sich Flaschenhalspopulationen genetisch stark voneinander. Die Daten, welche die Eawag-Forschenden nach dem Jahrhundertsommer gesammelt hatten, widerspiegeln dieses Szenario deutlich. Die einzelnen Metapopulationen zeigten nun weniger genetische Variation, dafür ausgeprägte Unterschiede untereinander [3].

Als die Wissenschaftler innerhalb eines Tales die lokalen Populationen miteinander verglichen, die in temporären oder dauerhaften Bereichen des Bachbetts leben, stellten sie fest, dass die Dürre hier nichts verändert hatte und diese sich nach wie vor genetisch sehr ähnlich waren. Daraus lässt sich schliessen,

dass die temporären Habitate und Populationen, die während der trockenen Sommermonate öfters aussterben, von Individuen benachbarter Populationen wiederbesiedelt werden [3]. Zusammenbrüche lokaler Populationen sind somit ein normaler Bestandteil der Dynamik in einem natürlichen Ökosystem, aber aufgrund menschlicher Eingriffe geschehen diese häufiger und sind oft auch einschneidender.

Einzelne intakte Habitate bringen zu wenig. Die Lebensfähigkeit einer Metapopulation hängt aber entscheidend von ihren lokalen Populationen ab. Diese sichern die Rekolonisierung temporärer Lebensräume oder nach einem Katastropheneignis. Wenn solche Ereignisse zum Beispiel im Zuge des Klimawandels aber häufiger werden, sind vermehrt Zusammenbrüche lokaler Populationen zu erwarten und mit ihnen ein kontinuierlicher Verlust der genetischen Vielfalt. Damit geht wichtiges genetisches Potenzial verloren, das es den Populationen und damit auch Metapopulationen ermöglicht, sich an Umweltveränderungen anzupassen.

Durch die Degeneration lokaler Populationen wird auch die Metapopulation kollabieren, allerdings zeitlich verzögert. Daher sollten bereits Schutzmassnahmen ergriffen werden, wenn die geeigneten Lebensräume für lokale Populationen abnehmen und fragmentierter werden. Es reicht dabei nicht, sich auf einige wenige passende Gebiete zu beschränken. Schutzbemühungen und Renaturierungen sollten vielmehr darauf abzielen, ein genügend grosses Netzwerk aus miteinander verbundenen Habitaten sicherzustellen, denn stabile und belastbare Metapopulationen bedingen viele ausreichend vernetzte lokale Populationen entsprechender Grösse. Dabei sollte sich das Naturschutzmanagement auf gesunde Metapopulationen bestimmter Schlüsselarten konzentrieren. Diese Strategie verspricht die kostengünstigste

Glossar

<i>Ökologische Prozesse</i>	Wechselwirkungen der Organismen untereinander oder mit ihrer Umwelt.
<i>Evolutionäre Prozesse</i>	Im Sinne des mikroevolutionären Prozesses: Änderungen der Allel-Häufigkeiten auf der Ebene der Population, ausgelöst durch Genfluss, genetische Drift, Mutationen oder natürliche Selektion.
<i>Genfluss</i>	Die Verbreitung von Genen von einer Population in eine andere.
<i>Genetische Drift</i>	Zufällige Änderung der Allel-Häufigkeit, vor allem in kleinen Populationen, die nicht von natürlicher Selektion beeinflusst wird.
<i>Genetischer Flaschenhals</i>	Massive genetische Verarmung einer Population aufgrund einer starken Reduktion der Anzahl Individuen.
<i>Lokale Anpassung</i>	Evolution von Merkmalen durch natürliche Selektion, welche höhere Fitness unter spezifischen Umweltbedingungen (biotisch und abiotisch) haben.
<i>Glaziale Refugien</i>	Abgelegene Orte, wo sich einst weitverbreitete Arten während der letzten Eiszeit zurückgezogen haben (eiszeitliche Rückzugsgebiete).
<i>Schlüsselarten</i>	Arten, welche einen überdurchschnittlich grossen Einfluss auf ihre Umwelt haben (gemessen an ihrer Biomasse) und eine kritische Rolle beim Erhalt und der Definition des Ökosystems haben.

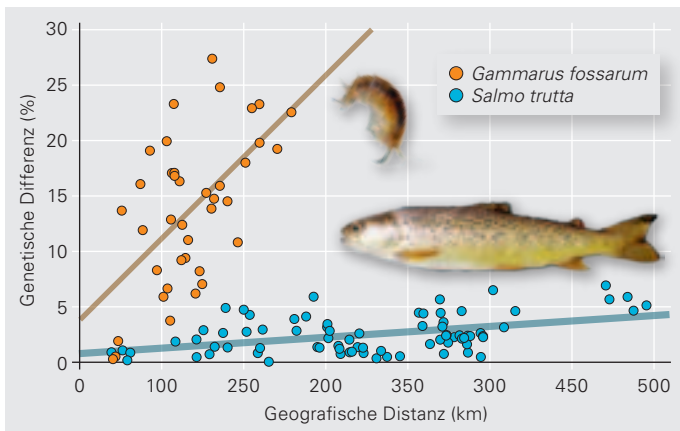


Abb. 3: Der Zusammenhang von Vernetzungsgrad und lokalen genetischen Unterschieden am Beispiel der Bachforelle (*Salmo trutta*) und des Bachflohkrebses (*Gammarus fossarum*). Jeder Datenpunkt steht für die genetischen Unterschiede zwischen zwei Populationen und der geografischen Distanz zwischen diesem Populationspaar. Die genetischen Unterschiede sind bei den Bachflohkrebspopulationen grösser, weil weniger genetischer Austausch stattfindet.

Garantie für die Erhaltung nachhaltiger Ökosystemdienstleistungen zu sein.

Populationen verbinden – ein zweiseitiges Schwert. Wie stark Populationen miteinander im Austausch stehen, ist eine Funktion der Distanz und der Isolation zwischen ihnen. Populationen, die nahe beieinanderliegen und gut vernetzt sind, tauschen mehr Individuen miteinander aus und haben mehr Genfluss als mit weit entfernten oder durch Wasserfälle oder Bauwerke getrennte Populationen. Abgelegene oder unzugängliche Populationen können daher ausgeprägte genetische Unterschiede aufweisen, die zum Beispiel wertvolle neue Varianten beinhalten. Bei der Planung von Renaturierungsprojekten sollte darauf geachtet werden, solche Populationen nicht mit anderen zu verbinden. Eine gute Vernetzung der Populationen kann zwar geschwächte Populationen durch vermehrten Genfluss stärken, öffnet aber auch Tür und Tor für die Ausbreitung von invasiven Arten oder Krankheiten.

Der Zusammenhang zwischen Vernetzung von Populationen und genetischer Differenzierung lässt sich anhand der Bachforelle (*Salmo trutta*) und des Bachflohkrebses (*Gammarus fossarum*) im Einzugsgebiet des Rheins schön zeigen. Die lokalen Populationen der sehr beweglichen Forelle zeigen einen hohen Vernetzungsgrad. Die genetischen Unterschiede zwischen den Populationen sind daher nicht ausgeprägt. Trotzdem findet man eine klare Korrelation zwischen geografischer Distanz und genetischen Unterschieden. Der genetische Austausch ist also auch bei guter Vernetzung beschränkt, sodass es immer noch lokale Unterschiede zwischen den Populationen gibt [1]. Bei den weniger mobilen Bachflohkrebsen ist der Zusammenhang zwischen geografischer und genetischer Distanz jedoch viel ausgeprägter [4]. Die Populationen sind trotz geringer Entfernung genetisch extrem unterschiedlich, was auf sehr wenig Genfluss hinweist, sodass sich lokale Anpassungen einfacher entwickeln können (Abb. 3).

Solche Erkenntnisse spielen bei Naturschutzmassnahmen eine Rolle. So ist man beispielsweise daran interessiert, vitale Forellenpopulationen zu erhalten, und unterstützt dies durch Besatzmassnahmen. Je nach Ursprung der Besatzpopulation nimmt man damit aber einen erhöhten Genfluss oder die Vereinheitlichung der lokalen Populationen in Kauf. Bei den Bachflohkrebsen wiederum hat die Erhaltung der lokalen Rassen Priorität. Aktive Umsiedlungen von Populationen müssen hier verhindert werden. Vielmehr gilt es durch Renaturierungen der Habitate die regionale Metapopulation zu stärken. Von solchen Renaturierungsmassnahmen dürften auch die Fressfeinde der Bachflohkrebsen, die Bachforellen, profitieren, sodass ein Besatz unnötig werden könnte.

Mehr Präzision bei der Planung. Idealerweise würden regionale Renaturierungsprojekte mit dem Ziel geplant, möglichst viel der genetischen Diversität vor Ort zu erhalten. Dies bedingt aber eine Kartierung der genetischen Struktur der lokalen Populationen. Daraus liesse sich dann ableiten, welche Populationen gestützt, beziehungsweise wo Habitate aufgewertet oder neu geschaffen werden müssen. So kann auch verhindert werden, dass isolierte Populationen mit einzigartigen Genvarianten durch ungewollten Genfluss verwässert werden. Aus dieser Sicht ist eine Renaturierung ein schwieriger Balanceakt zwischen der Aufwertung bestehender Metapopulationen und der Bewahrung genetisch unterschiedlicher Populationen.

In Binnengewässern hat sich die Renaturierungsökologie klassischerweise auf das Wiederherstellen von Habitat-Heterogenität, Verbesserung der natürlichen Hydrologie und Vernetzung der zerteilten Lebensräume konzentriert. Die Betonung des Werts lokaler Populationen widerspricht diesen klassischen Prinzipien nicht, bedingt aber mehr Präzision bei der Planung, wo und wie Renaturierungsmassnahmen umgesetzt werden. Die Ziele einer Renaturierung sollten biologisch gerechtfertigt sein und auf Schlüsselarten abzielen, die eine wichtige funktionale Rolle im Ökosystem haben und neue genetische Varianten besitzen. Dies verlangt von den Fachleuten aber auch neue Fähigkeiten. ○ ○ ○

- [1] Keller I., Taverna A., Seehausen O. (2011): Evidence of neutral and adaptive genetic divergence between European trout populations sampled along altitudinal gradients. *Molecular Ecology* 20, 1888–1904, doi: 10.1111/j.1365-294X.2011.05067.x.
- [2] Kubow K.B., Robinson C.T., Shama L.N.S., Jokela J. (2010): Spatial scaling in the phylogeography of an alpine caddisfly, *Allogamus uncutus*, within the central European Alps. *Journal of the North American Benthological Society* 29 (3), 1089–1099.
- [3] Shama L.N.S., Kubow K.B., Jokela J., Robinson C.T. (2011): Bottlenecks drive temporal and spatial genetic changes in metapopulations of alpine caddisfly metapopulations, (eingereicht).
- [4] Westram A.M. (2011): Evolutionary Ecology of cryptic amphipod species. PhD-Dissertation 19650, ETH Zürich, Switzerland.

Die Zukunft des Wassers in einer sich wandelnden Welt



Janet Hering, Direktorin der Eawag, ist Spezialistin für Methoden der Trinkwasseraufbereitung und das biogeochemische Verhalten von Spuremetallen. Sie lehrt an der ETH Zürich und Lausanne.

Die Gesellschaft ist sowohl von der direkten Nutzung der Wasserressourcen abhängig – von der Wasserversorgung über die Bewässerung, Abwasserentsorgung und Energieproduktion bis zur Schifffahrt – als auch von den Ökosystemdienstleistungen der aquatischen Umwelt. Die Sicherstellung von Letzteren kann nur gelingen, wenn wir die negativen Auswirkungen von Ersterem auf die aquatische Umwelt minimieren.

In Bezug auf das Management der Wasserressourcen sowie den Aufbau und Unterhalt der Wasserinfrastruktur kann die Schweiz auf eine lange und erfolgreiche Geschichte zurückblicken. In den Schweizer Alpen entspringen mehrere grosse Flüsse Europas, weshalb das Land für seine Oberflächengewässer und deren Wasserqualität eine internationale Verantwortung trägt. Trotzdem veränderten die starke Nutzung der Wasserkraft und der erforderliche Hochwasserschutz die aquatische Umwelt hierzulande grundlegend.

Entscheidungen über das Wassermanagement der Zukunft wird die Schweiz im Gegensatz zu früher zunehmend in einem Kontext treffen müssen, der nicht nur die bestehende Infrastruktur einschliesst, sondern auch sich verändernde Bedingungen (wie etwa den Klimawandel) und soziale Werte. Anhand historischer und globaler Erfahrungen lässt sich aufzeigen, welche Herausforderungen diesbezüglich auf die Schweiz zukommen werden.

Langlebige Wasserinfrastruktur: Die Suonen, die traditionellen Bewässerungsleitungen im Kanton Wallis, entstanden bereits vor über 1000 Jahren und sind teilweise noch heute in Gebrauch.



Keystone

Grundverantwortung einer Gesellschaft. Das Management der Wasserressourcen und -infrastruktur war schon immer eine Grundverantwortung einer Zivilgesellschaft. Von der zentralen Bedeutung des Wassers zeugen die vielen, Tausende von Jahren alten Wasserinfrastruktur-Artefakte auf fast allen Kontinenten. So finden sich zum Beispiel überall in Europa Überreste römischer Aquädukte, Bäder oder Latrinen. Die Suonen (französisch «bisses»), die traditionellen Bewässerungsleitungen im Kanton Wallis, deren Ursprung rund 1100 Jahre zurückliegt, sind zum Teil noch heute in Gebrauch.

Eine Gesellschaft profitiert in vielerlei Hinsicht direkt von Wasser oder der aquatischen Umwelt. Die Bedeutung von Wasser für Gesundheit und Hygiene erkannten bereits die Zivilisationen des Altertums. Kürzlich hat die UNO den Anspruch auf sauberes Wasser zum Menschenrecht erklärt.

Wasser speist sowohl die terrestrischen Ökosysteme inklusive der Landwirtschaftsgebiete als auch die aquatischen Ökosysteme, was für die Fischerei von Bedeutung ist. Es dient dem Transport von Menschen und Gütern, der Stromerzeugung, der Erholung und es hat auch einen ästhetischen Wert. Ein Grossteil dieses Nutzens lässt sich nur mit dem Bau entsprechender Infrastruktur, vom einfachen Kanal bis zur massiven Staumauer, erschliessen. Eine solche Infrastruktur bedeutet substantielle Investitionen seitens der Gesellschaft (siehe Artikel Seite 22).

Viele dieser Infrastrukturbauten greifen zudem massiv in die aquatische Umwelt ein und verändern – sei es absichtlich oder aus Notwendigkeit – die ursprünglichen Bedingungen, zum Beispiel die Morphologie und Strömungseigenschaften eines Flusses, dramatisch. So stand die Entwicklung eines Grossteils der Schweizer Wasserinfrastruktur im frühen 19. Jahrhundert im Zeichen des Überschwemmungsschutzes und der Gewinnung von Boden für die Landwirtschaft und Siedlungen.

Eingriffe in die aquatische Umwelt. Zu den schädlichsten Eingriffen, die mit dem Bau von Infrastruktur oder der Wassernutzung einhergehen, gehören die Umleitung von Gewässern und die Veränderung der Fliessbedingungen. Die ökologische Zerstörung des Aralsees an der Grenze zwischen Usbekistan

und Kasachstan ist zum Beispiel darauf zurückzuführen, dass die beiden Länder während Jahrzehnten Wasser zur Bewässerung ihrer landwirtschaftlichen Kulturen abzweigten. In verschiedenen Ländern erreichen selbst grosse Flüsse wie der Colorado River in den Vereinigten Staaten aufgrund menschlicher Eingriffe ihr Mündungsgebiet nicht mehr, was zum Kollaps der dortigen Ökosysteme führt.

In der Schweiz stellen die Begradigung und Kanalisierung von Flüssen sowie der Bau von Staudämmen die schwerwiegendsten Eingriffe in die Gewässersysteme dar. So existieren heute rund 88 000 künstliche Gewässerbarrieren, die mehr als einen halben Meter hoch sind; im Kanton Zürich macht das circa elf Hindernisse pro Flusskilometer. Im 65 300 Kilometer umfassenden Fließgewässernetz der Schweiz sind rund 15 800 Kilometer (24 Prozent) in einem morphologisch ungenügenden Zustand [1]. Grosse Flüsse im Flachland sind in dieser Gruppe überdurchschnittlich oft vertreten. Mit anderen Worten: Von allen Schweizer Flüssen sind 50 Prozent der unter 600 m ü. M. gelegenen beziehungsweise 48 Prozent der mehr als fünf Meter breiten Fließgewässer betroffen.

Der Wasserhaushalt vieler Alpenflüsse ist entweder durch ungenügende Restwassermengen infolge rund 1400 Wasserfassungen oder den Schwall-Sunk-Betrieb beeinträchtigt. Zudem sind vor allem im Tiefland viele Flüsse von ihrem natürlichen Flussbett abgeschnitten. Das 2003 vom Bundesamt für Umwelt erlassene Leitbild Fließgewässer in der Schweiz nennt dementsprechend genügend Raum, ausreichende Abflussmengen und eine gute Wasserqualität als Ziel für die hiesigen Wasserläufe. Doch bei bereits verbauten Gewässern bewirkten diese Vorgaben wenig.

Die Eingriffe in die Fließgewässer der Schweiz und in noch bedeutenderem Mass in anderen Ländern wirken sich in der Regel nur lokal oder regional aus. Doch während in der Vergangenheit der Einflussradius, den menschliche Aktivitäten auf die aquatische Umwelt hatten, regional beschränkt war, sind diese heute oft globalen Ausmasses.

Globale Veränderungen und zukünftige Herausforderungen.

Mit der Veröffentlichung des vierten Klimaberichts durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007 rückten zum Beispiel die möglichen Konsequenzen des globalen Klimawandels für die aquatische Umwelt zunehmend in den Fokus [2]. Für die Schweiz sagen die Klimaprognosen keine Veränderungen der jährlichen Durchschnittsregenfälle voraus, jedoch saisonale Verschiebungen (Abb. 1). Während damit in Zukunft trockenere Sommer zu erwarten sind, könnte eine Niederschlagszunahme im Winter kombiniert mit vermehrtem Regen- statt Schneefall das Überschwemmungsrisiko erhöhen. Gesichertes Erkenntnis ist der Rückzug der Schweizer Gletscher um durchschnittlich rund 50 Prozent ihrer Ausdehnung zwischen 1850 und 2000 aufgrund höherer Durchschnittstemperaturen.

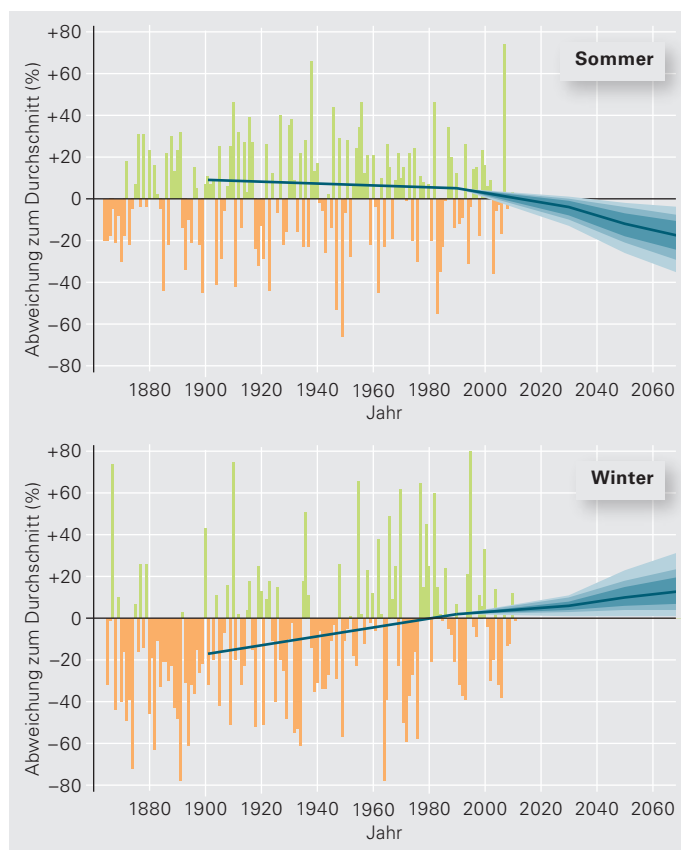
Experten schätzen, dass weltweit bereits gegen ein Fünftel der Weltbevölkerung unter Wasserknappheit leidet [3]. Wasserknappheit herrscht gemäss Definition dann, wenn mehr als 75 Prozent der erneuerbaren Wasservorräte für menschliche Bedürfnisse verwendet werden. Noch mehr Menschen leiden

infolge Wassermangels an Fehlernährung und Krankheiten, die auf ungenügende Hygieneverhältnisse und das Fehlen sanitärer Anlagen und sicheren Trinkwassers zurückzuführen sind. Die Millenniumsentwicklungsziele der UNO, bis 2015 den Anteil der Weltbevölkerung ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser und einer sanitären Grundversorgung zu halbieren, werden wohl nicht erreicht werden (siehe auch Artikel Seite 26).

Die Wasserproblematik insbesondere in vielen Entwicklungs- und Schwellenländern verlangt aus humanitären Gründen dringend nach Lösungen. Im Bereich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung spielen dabei auch neue Konzepte und Technologien eine wichtige Rolle. So eignen sich beispielsweise zentrale Abwasserreinigungsanlagen mit Kanalisation, die auf ausreichend Wasser zum Transport der Fäkalien angewiesen sind, in ariden und semiariden Regionen mit Wasserknappheit nicht. Hier bieten dezentralisierte Verfahren, wie sie unter anderem von der Eawag entwickelt und erforscht werden, eine sparsame Alternative. Die Trennung der Abwasserströme an der Quelle ermöglicht dabei zudem eine Rückgewinnung der Nährstoffe (siehe Artikel Seite 30).

Aufgrund von globalen Entwicklungen wie dem Klimawandel, dem Bevölkerungswachstum, aber auch veränderten Konsumge-

Abb. 1: Einfluss des Klimawandels auf die Niederschlagsprognosen in der Schweiz. Das Diagramm zeigt die Entwicklung der mittleren Niederschläge von 1864 bis 2010 (gemessen) und Szenarien bis 2070 verglichen mit dem Durchschnitt von 1961 bis 1990. Im Winter muss in Zukunft mit mehr, im Sommer mit weniger Regen gerechnet werden (nach MeteoSchweiz/ETHZ).



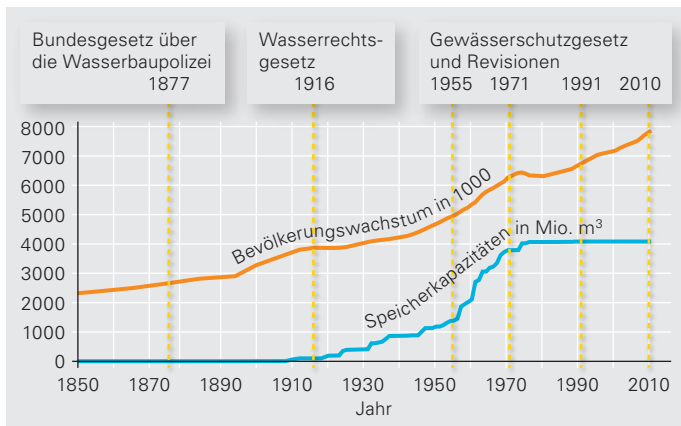


Abb. 2: Die Einführung von Bundesgesetzen vor dem Hintergrund des Bevölkerungswachstums und der Entwicklung der Speicherkapazitäten von Stauseen in der Schweiz. Die ersten beiden Versionen des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) von 1955 und 1971 hatten den Schutz vor Verunreinigungen zum Ziel (qualitativer Gewässerschutz), bei der Revision 1991 kamen Mindestrestwassermengen (quantitativer Gewässerschutz) dazu. Die Revision von 2010 soll Renaturierungen fördern und die Schwall-Sunk-Problematik mindern (Quellen: Wikipedia, www.swissdams.ch).

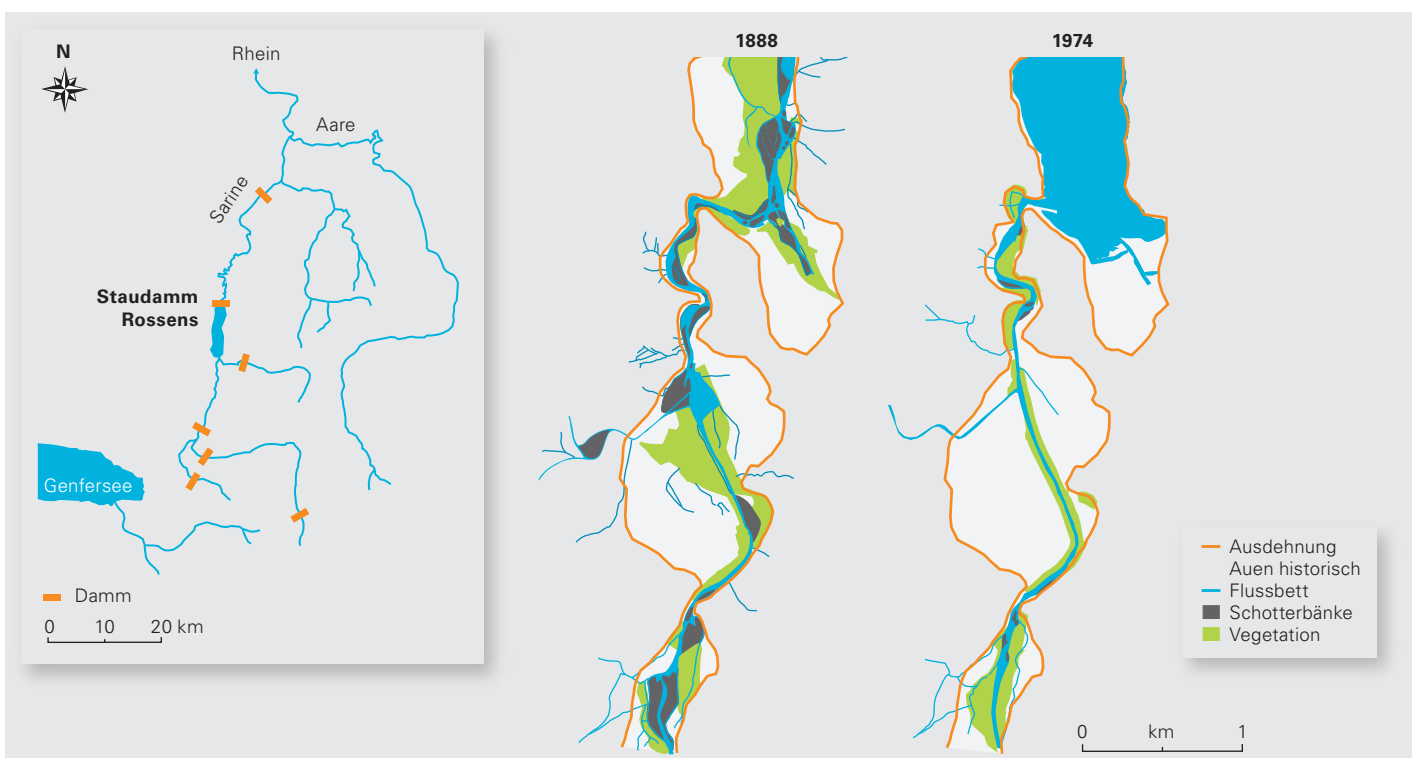
wohnheiten können wir uns beim Wassermanagement in Zukunft nicht mehr länger an Erfahrungen der Vergangenheit orientieren. Dafür sind neue Strategien nötig, mit denen wir nicht nur den Veränderungen in Umwelt und Gesellschaft gerecht werden können, sondern die auch Unsicherheiten, wie die Umwelt auf getroffene Massnahmen reagiert, berücksichtigt.

Entwicklungen im Gewässerschutz. Da sich die zukünftigen Herausforderungen im Bereich Wasser in der Schweiz komplexer präsentieren werden, müssen Managementmassnahmen integrativer und anpassungsfähiger sein als in der Vergangenheit. Trotzdem sind kommende Entscheidungen auch von den Infrastrukturmassnahmen der Vergangenheit beeinflusst und bauen auf diesen auf (siehe Artikel Seite 22). Wasserinfrastrukturen sind meist auf eine relativ lange Lebensdauer von typischerweise etwa 80 Jahren ausgelegt – und während dieser Zeit können sich die Rahmenbedingungen stark verändern. Abbildung 2 illustriert dies, indem der Ausbau der Speicherkapazitäten von Stauseen der Entwicklung der Bevölkerung und Gesetzgebung seit 1850 gegenübergestellt wird.

Die Stromproduktion ist ein Paradebeispiel dafür, welche ökologischen Auswirkungen die Wasserinfrastruktur haben kann. Exemplarisch zeigt dies der Bau des Staudamms bei Rossens im Kanton Freiburg. Die 1947 fertiggestellte Talsperre staut die Saane und weitere Flüsse zum 960 Hektaren grossen Greyerzersee und führte zum Verlust wertvoller Auengebiete (Abb. 3). In der Vergangenheit nahm die Gesellschaft die Zerstörung von Lebensräumen als notwendigen Kompromiss in Kauf, den man bei solchen Bauprojekten eingehen musste.

Das hat sich mittlerweile geändert. Bereits Ende der 1980er-Jahre verhinderte das starke Engagement von Bürgerinnen und Bürgern ein Dammpjekt, das die Greina-Hochebene im Kanton Graubünden mit ihren vielfältigen Biotopen überflutet hätte. Seit der Revision des Gewässerschutzgesetzes 1991 sind für die Fliessgewässer minimale Restwassermengen vorgeschrieben

Abb. 3: Die Veränderung der Flussmorphologie nach dem Bau des Staudammes in Rossens (FR) [4].



(quantitativer Gewässerschutz), was von den Kantonen bis 2012 umgesetzt werden muss. Doch der Fortschritt geht nur langsam voran. Die hohen Hürden für Kompensationszahlungen bei Einbussen in der Energieproduktion beispielsweise aufgrund höherer Restwassermengen verhinderten bislang naturnähere Flussregimes. Mit der Gesetzesrevision 2010 stellt der Bund nun zusätzliche Mittel für die Gewässerrenaturierung und zur Verminderung der negativen Auswirkungen des Schwall-Sunk-Betriebs sowie von Flussfragmentierungen zur Verfügung.

Integrative und anpassungsfähige Lösungen. Viele zukünftige Entscheidungen in Bezug auf Wasserressourcen und -infrastruktur tangieren unterschiedliche gesellschaftliche Interessen und machen eine klare Abwägung der Bedürfnisse notwendig. Neue Probleme, zum Beispiel Mikroverunreinigungen in Oberflächen- und Grundwasser, verlangen möglichst massgeschneiderte Lösungen (siehe Artikel Seite 14). Gleichzeitig erlaubt das gegenwärtige Wissen aber oft keine definitiven Vorhersagen über die Wirkung verschiedener Massnahmen.

Umso entscheidender ist es, dass die entsprechenden Wissenschaftsdisziplinen Fortschritte machen, etwa beim Verständnis über die Auswirkungen chemischer Substanzen (von der subzellulären Ebene bis zum Ökosystem) oder über den Zusammenhang zwischen Biodiversität und der Pufferfähigkeit von Ökosystemen respektive der Gewährleistung von Ökosystemdienstleistungen (siehe Artikel Seite 34). Wichtig ist dabei, die Unsicherheit wissenschaftlicher Prognosen auch explizit zu benennen, wenn diese in die Entscheidungsfindung einfließen.

Um Probleme im Bereich Wasserressourcen und -infrastruktur zu erkennen und tragfähige Lösungen zu entwickeln, die den gesellschaftlichen Bedürfnissen möglichst umfassend Rechnung tragen, ist eine breite, sektorenübergreifende Sichtweise unabdingbar. Nach diesem Grundsatz funktioniert zum Beispiel die Wasseragenda 21 (www.wa21.ch). Das Netzwerk wichtiger Akteure der Schweizer Wasserwirtschaft hat unter anderem Lösungsansätze zum Einzugsgebietsmanagement erarbeitet, die auch mit internationalen Abmachungen zum integrierten Wasserressourcenmanagement vereinbar sind [5].

Doch eine sektorenübergreifende Planung hat auch ihre Grenzen und macht bei sich gegenseitig ausschliessenden Bedürfnissen wenig Sinn. Hier braucht es eine pragmatische Beurteilung über den Grad an Integration. Zudem sollten die erzielten Synergien grösser sein als der Mehraufwand, der die grössere Komplexität sektorenübergreifender Projekte mit sich bringt.

Bei der konkreten Planung von Infrastrukturinvestitionen oder Managementstrategien sind eindeutige Formulierungen und eine klare Strukturierung der Zielvorstellungen nützlich, um die Transparenz der Prozesse zu verbessern und um Ziele und Massnahmen klar zu unterscheiden. Dies hilft auch, korrigierend einwirken zu können, wenn Massnahmen ungenügend greifen oder sich soziale Werte im Lauf der Zeit ändern und neue Zielvorgaben verlangen. Mit anpassungsfähigen Lösungen kann man auf solche Entwicklungen besser reagieren. Auf der Entscheidungstheorie basierende Methoden bieten eine interessante Möglichkeit einer transparenten und breit abgestützten Entscheidungsfindung. Die

Eawag hat solche Verfahren bei Flussrevitalisierungen bereits erfolgreich angewendet und weiterentwickelt [6].

Abwägung von Nutzung und Schutz. Dass die Nutzung der Ressource Wasser durch den Menschen zum Teil einschneidende Auswirkungen auf die aquatische Umwelt hat, ist seit Langem offensichtlich. Die Wertschätzung der Ökosystemdienstleistungen der aquatischen Umwelt und die Notwendigkeit von deren Erhaltung ist dagegen eine vergleichsweise neue Einsicht.

Die Abwägung der Nutzungs- und Schutzansprüche der verschiedenen Akteure ist für tragfähige Entscheidungsfindungen unabdingbar und sollte auf möglichst verlässliche wissenschaftliche Grundlagen abgestützt sein. In der Schweiz besteht heute und in den kommenden Jahren vor allem bei der Erhaltung der Biodiversität, der Kontrolle invasiver Arten sowie bei der Reduktion negativer Auswirkungen von Mikroverunreinigungen und der Wasserkraftnutzung Handlungsbedarf.

Die Schweiz kann ihre Erfahrungen beim Management von Wasserressourcen und -infrastruktur zum Wohl der Gesellschaft und zum Schutz der Umwelt zudem an Entwicklungs- und Schwellenländer weitergeben. Gleichzeitig kann sie auf diese Weise von den Erfahrungen profitieren, welche die Praxisanwendung neuer Konzepte und Technologien mit sich bringt. ○ ○ ○

- [1] Notter B., Aschwanden H., Klausner H., Staub E., von Blücher U. (2005): Ökomorphologischer Zustand der Schweizer Fließgewässer: Zwischenauswertung aufgrund der Erhebungen aus 18 Kantonen, www.bafu.admin.ch/umwelt/status/03979.
- [2] Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC (2008): Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz, <http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/524.pdf>.
- [3] Molden D. (2007): Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in Agriculture. Earthscan, London.
- [4] Guex D., Weber G., Musy A., Gobat J.-M. (2003): Evolution of a Swiss alpine floodplain over the last 150 years – Hydrological and pedological considerations. International Conference «Toward natural flood reduction strategies», Warschau, <http://levis.sggw.waw.pl/ecoflood/contents/articles/PS/html/Guex.pdf>.
- [5] Jönch-Clausen T. (2004): Integrated water resources management (IWRM) and water efficiency plans by 2005 – Why, what, and how? TEC Background Papers (10), Global Water Partnership, Stockholm.
- [6] Reichert P., Borsuk M., Hostmann M., Schweizer S., Spörri C., Tockner K., Truffer B. (2007): Concepts of decision support for river rehabilitation. *Environmental Modelling & Software* 22, 188–201.

Emeritierung von Willi Gujer

Willi Gujer, ehemals Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich und Mitglied der Direktion der Eawag, ist seit Januar 2011 emeritiert. Von 1976 bis 1994 leitete er die Abteilung für Ingenieurwissenschaften an der Eawag. Ab 1992 war er zudem Professor für Siedlungswasserwirtschaft an der ETH Zürich und übernahm auch hier Führungsaufgaben. Gujer hat mit seinen Arbeiten die Entwicklung der Kläranlagentechnik in Europa ganz



wesentlich beeinflusst. Besonders wichtig war ihm auch die Ausbildung von Fachleuten im Bereich Siedlungswasserwirtschaft. Er setzte sich intensiv für eine gute Lehre an der Hochschule ein und wurde im Jahr 2006 von der Studentenschaft der ETH Zürich dafür mit der Goldenen Eule und dem Credit Suisse Award for Best Teaching ausgezeichnet. Am 21.10.2011 findet an der Empa-Akademie in Dübendorf zu Ehren von Willi Gujer ein Symposium statt. www.eawag.ch/medien/veranstaltungen/20111021

Gates-Foundation unterstützt Urinprojekt

Die Stiftung von Bill und Melinda Gates unterstützt ein gemeinsames Projekt des Schweizer Wasserforschungsinstituts Eawag und der Wasserversorgung eThekweni in Durban, Südafrika, mit drei Millionen Franken. Im Zentrum steht die separate Sammlung von Urin, die innovative Lösungen für Verbesserungen der Siedlungshygiene und das Recycling der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium erlaubt. Projektleiter an der Eawag ist Kai Udert von der Abteilung Verfahrenstechnik. www.eawag.ch/vuna

Methan-aus-Holz-Technologie

Die Produktion von Methan aus Holz, synthetisches Erdgas (Bio-SNG), bietet eine gute Ergänzung zu etablierten Technologien zur Gewinnung alternativer Energien. Wie eine Studie der Eawag zeigt, lässt sich das Verfahren in der Schweiz unter bestimmten

Voraussetzungen umsetzen. Die Studie empfiehlt etwa, eine Bio-SNG-Anlage in der Nähe eines grossen Holzverarbeitungsbetriebs anzusiedeln, um Kosten für Holztransport und Energieholz zu sparen. Die Studie zeigt ausserdem, dass sich die unterschiedlichen Holzenergie-Technologien gegenseitig konkurrenzieren. Die neue Bio-SNG-Technologie kann dabei das Nachsehen haben, da Holzenergieanlagen eine Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren aufweisen. Eine Bio-SNG-Anlage wird wahrscheinlich erst realisiert werden, wenn eine andere Anlage ersetzt werden muss. Kontakt: steffen.wirth@eawag.ch

Neue Leiterin des Ökotox-zentrums

Im September 2010 hat die 53-jährige Inge Werner ihre Stelle als Leiterin des Ökotoxentrums der Eawag und der ETH Lausanne (EPFL) angetreten. Seit 1996 war die deutsch-amerikanische Doppelbürgerin an der University of California in Davis, USA, in



der Umweltforschung tätig und engagierte sich als Adjunct-Professorin in der Lehre. In den letzten fünf Jahren leitete sie dort das Aquatic Toxicology Laboratory (ATL). Das ATL ist ein staatlich zertifiziertes Labor, das die Gewässerqualität und die Gesundheit der aquatischen Ökosysteme in ganz Kalifornien untersucht. Dort hat die promovierte Zoologin zusammen mit staatlichen und lokalen Behörden zahlreiche angewandte Projekte in der aquatischen Ökotoxikologie durchgeführt. www.oekotoxzentrum.ch

Ökotoxikologieforschung ohne Tierversuche

Die Eawag ist seit Kurzem Partnerin im europäischen Netzwerk Euroecotox, das in der Ökotoxikologieforschung Alternativen zu Tierversuchen durchsetzen will. Euroecotox wird vom 7. Forschungsrahmenprogramm der EU gefördert. www.euroecotox.eu



Zweite Amtszeit von Janet Hering

Auf Antrag des ETH-Rats hat der Bundesrat Janet Hering als Direktorin der Eawag für eine zweite Amtszeit bis 2014 wiedergewählt. Hering ist seit Anfang 2007 Direktorin des Wasserforschungsinstituts des ETH-Bereichs und hält seit Mai 2010 eine Doppelprofessur an der ETH Zürich und an der ETH Lausanne. Zurzeit schliesst Hering zusammen mit der Eawag-Direktion die



Strategieplanung 2012 bis 2016 ab. Leitfrage dabei ist, wie es gelingen kann, dem Bedarf des Menschen nach Wasser gerecht zu werden und gleichzeitig die aquatische Umwelt und ihre essenziellen Dienstleistungen zu erhalten. Im Bild: ETH-Ratspräsident Fritz Schiesser, Janet Hering und der Präsident der ETH Zürich, Ralph Eichler, am Apéro anlässlich der Wiederwahl.

U-Boote im Genfersee

Seit Ende Mai sind in Le Bouveret am Genfersee zwei russische MIR-U-Boote im Einsatz. Ein internationales Forscherteam, angeführt von der ETH Lausanne, wird in den nächsten Monaten damit dem See auf den Grund gehen. Vier der Projekte stehen unter Federführung der Eawag. Ihr Fokus liegt auf dem Rhone-Delta. Hier haben sich über die Jahrtausende grosse Mengen an Sedimenten abgelagert und unterseeische Canyons gebildet. Mit den U-Booten wollen die Eawag-Forschenden das



Verhalten dieser Ablagerungen, die Stabilität der Unterwassertopografie und die Austauschvorgänge zwischen Sediment und Wasser näher untersuchen. Die Entnahme horizontaler Sedimentbohrkerne aus den Steilwänden der Unterwassercanyons sollen zum Beispiel Aufschluss über die Stabilität der steilen Deltaabhängige geben. Das Abrutschen grosser Sedimentmassen in Seen und im Meer kann nämlich nicht nur verheerende tsunamartige Wellen auslösen, sondern erklärt auch Strukturen am und im Seegrund ausserhalb des Deltas und ist für die weiträumige Verfrachtung von aufgewirbeltem Material verantwortlich.

Klimapreis für Luftstrippung

Die Zurich-Versicherung hat das Projekt «Stickstoffrecycling mittels Luftstrippung auf der Kläranlage Kloten/Opfikon» der Eawag ausgezeichnet. Das Projekt, das von der ARA Kloten/Opfikon und dem Team von Marc Böhler umgesetzt und vom Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich (Awel) finanziert wurde, erhielt einen Sonderpreis im Rahmen der Verleihung des Zurich-Klimapreises. Das Projekt von Marc Böhler (links), Hansruedi Siegrist (nicht auf dem Bild), Sandra Büttner



von der Abteilung Verfahrenstechnik und ihren Partnern ist in vieler Hinsicht zukunftsweisend. Mit der Luftstrippung lässt sich in Kläranlagen Stickstoff in Form von Ammonsulfatdünger aus Faulwasser zurückgewinnen und damit der Stickstoffkreislauf nahezu schliessen. Eine weitere Vorbehandlung des Faulwassers verringert zudem den Energieverbrauch des Verfahrens. In ihrem Projekt setzten die Forschenden das Verfahren in der Kläranlage Kloten/Opfikon in der Schweiz zum ersten Mal grosstechnisch um. Überdies soll die grosstechnische Mitbehandlung von in Eawag-Gebäuden separiertem Urin getestet werden, um einen wirtschaftlichen und energieeffizienten Weg aufzuzeigen, wie Urin zu einem Produkt verarbeitet werden kann. www.eawag.ch/forschung/eng/schwerpunkte/abwasser/luftstrippung

In Kürze

Neu erschienen

Rechtzeitig zum Eawag-Jubiläum ist im April 2011 die Broschüre **«Streiflichter auf die Eawag»** erschienen. Sie gibt in sechs Kapiteln einen informativen und bisweilen vergnüglichen Einblick in die Wasserforschung der Eawag von gestern, heute und morgen. Vom Gestern zu lernen, im Heute aktiv zu sein und für das Morgen zu planen sei immer eine Stärke der Eawag gewesen, schreibt Direktorin Janet Hering im Editorial. Die Broschüre in Deutsch, Französisch und Englisch ist gratis und kann unter info@eawag.ch bestellt werden. Sie ist auch online verfügbar unter www.eawag.ch/75jahre.

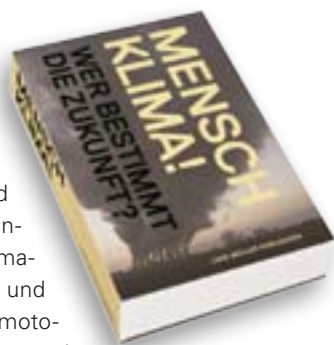


Bereits in der fünften Auflage ist **«Aquatische Chemie»** von Laura Sigg und Werner Stumm neu erschienen (vdf-Hochschulverlag, ISBN: 9783825284633). Das Lehrbuch behandelt die Grundlagen der aquatischen Chemie, der Chemie wässriger Lösungen und ihrer Anwendung auf die natürlichen Gewässer und auf andere aquatische Systeme. Diese Grundlagen ermöglichen es, die chemischen Prozesse in natürlichen Gewässern und in technischen Systemen der Abwasserreinigung und der Trinkwasseraufbereitung zu verstehen.



Seit Juni ist **«Mensch Klima! Wer bestimmt die Zukunft?»** von René Schwarzenbach im Handel (Lars Müller Publishers, ISBN: 9783037782446).

Das Lesebuch widmet sich anhand von Reportagen, Fallstudien und eindringlichen Bildsequenzen dem Klimawandel. Neben Kapiteln zur Erd- und Klimageschichte und zu den Klimamotoren Sonnenenergie, Treibhausgase und Erderwärmung stellt es die Folgen des Klimawandels und Strategien der Klimapolitik dar.



Eawag-Publikationen

Alle Publikationen der Eawag-Forscherinnen und -Forscher samt Zusammenfassungen der einzelnen Artikel sind in der Eawag-Bibliothek Lib4RI erhältlich. Darin enthaltene «open access»-Publikationen können frei heruntergeladen werden: www.lib4ri.ch/institutional-bibliography/eawag.html
Bei Problemen: info@lib4ri.ch

Agenda

Kurse

- 4.–15. Juli 2011, Eawag Kastanienbaum
PhD-Sommerschule: Sediments as archives of environmental change
- 6.–7. September 2011, Eawag Dübendorf
Evolutionsökologie im Gewässerschutz
- 29.–30. September 2011, Eawag Dübendorf
Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern mit Schwerpunkt hormonaktive Substanzen
- 6.–7. Oktober 2011, Eawag Dübendorf
Erfolgreiche Revitalisierung von Fließgewässern
- 2.–4. November 2011, Emmetten
VSA-Fortbildungskurs: Mikroverunreinigungen und Aspekte zu Energie und Stickstoff
- 16.–17. November 2011, Eawag Dübendorf
Bewertung von Oberflächengewässern: Konzepte und Implementation
- 7.–8. Dezember 2011, Eawag Dübendorf
Sanitation planning tools in developing countries

Führungen

- 22. September 2011, Eawag Kastanienbaum
Öffentliche Führung durch die Eawag Kastanienbaum

Tagungen

- 11.–15. September 2011, ETH Zürich
Emerging issues in environmental chemistry: from basic research to implementation
- 21. Oktober 2011, Eawag Dübendorf
Symposium zu Ehren von Prof. Willi Gujer
- 3. November 2011, Landhaus Solothurn
4. Fachtagung Chloronet

Weitere Informationen: www.eawag.ch/veranstaltungen

Beurteilung von Mikroverunreinigungen

Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser beeinträchtigen die Wasserqualität der Schweizer Gewässer. Die Eawag und das Ökotoxzentrum haben im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt nun eine Anleitung entwickelt, die politischen Entscheidungsträgern helfen soll, weitere Untersuchungen oder Massnahmen zur Reduktion von Mikroverunreinigungen zu planen. Das «Beurteilungskonzept für organische Spurenstoffe aus kommunalem Abwasser» bietet eine detaillierte Anleitung zur Identifikation belasteter Gewässer, der Beurteilung der Wasserqualität, der Ermittlung der Quellen der Verunreinigungen und der Prüfung möglicher Massnahmen. www.eawag.ch/forschung/uchem

