



Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, 8600 Dübendorf, Schweiz



ETHICS EAWAG



01700003372449

2 Nachhaltige Wassernutzung und Innovationen

Bernhard Truffer

3 Wasser, ein knappes Gut?

Alexander J.B. Zehnder

5 Angepasste Wasseraufbereitung hilft allen

Martin Wegelin und Roland Schertenleib

8 Israel – eine Fallstudie über die Wassernutzung

Saul Arlosoroff

12 Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft – technologische Implikationen

Tove A. Larsen und Willi Gujer

15 Nährstoffflüsse im Donauraum – Quellen und letzte Senken

Paul H. Brunner und Christoph Lampert

18 Ozonung von Trinkwasser – Oxidation von Spurenstoffen

Urs von Gunten, Mike Elovitz und Hans Peter Kaiser

21 Transport von Kobalt im Bielersee – dem Aarewasser auf der Spur

Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Jin Qian, Laura Sigg, HanBin Xue, Daniel Kobler, Alfred Lück und Yvo Weidmann

25 Bakterien können die bioverfügbaren Konzentrationen verschiedener Umweltschadstoffe anzeigen

Jan Roelof van der Meer, Marco Jaspers, Patrick Sticher, Ronen Tchelet und Hauke Harms

28 Aus den Abteilungen

24 Verleihung des Professorentitels an Markus Boller

28 Neue Forschungsrichtungen in der Limnologie

31 Otto-Jaag-Preis 1996

32 Anwendung der EAWAG-Konzepte zur Fließgewässerbewertung

33 Zusammenarbeit mit Osteuropa: Erfahrungen und Absichten

36 Chemische Reaktionen in der Atmosphäre – ein Rückblick und ein Blick in die Zukunft

39 Veranstaltung im Kurszentrum Kastanienbaum

40 Der Ökotoxikologie-Kurs «coetox»

41 Poster-Präsentationen: Das Beste daraus machen!

42 Publikationen (2139–2219)

BIBLIOTHE

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung
Abwasserreinigung u. Gewässerschutz
Ueberlandstr. 133 8600 Dübendorf

Nachhaltige Wassernutzung und Innovationen



Diana Hornung

Wassers nachhaltig gestalten will. Ökologisch motivierte Innovationen spielen dabei eine wichtige Rolle. Innovationen sind aber nicht *per se* gut. Zunehmend zentral wird es, von einem «erweiterten Technologie- und Innovationsverständnis» auszugehen. Dieses muss einerseits gesellschaftliche Rahmenbedingungen und alternative Nutzungsformen in die Entwicklung von Lösungen miteinbeziehen (hier kann der Dialog mit den Sozialwissenschaften zum Tragen kommen), andererseits muss aber auch naturwissenschaftlich auf breiter Basis nach Lösungen gesucht werden. Insbesondere die beim Herstellen und Verbrauch anfallende Energieintensität der vorgeschlagenen Alternativen verdient Beachtung.

Eine innovationsorientierte Strategie im Umgang mit der Ressource Wasser beinhaltet viele neue Herausforderungen für die EAWAG. Sicher wird weiterhin ein fundiertes Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge wichtig bleiben. Damit diese Forschung aber handlungsrelevante Antworten liefert, muss sie sich vermehrt mit der Logik von Innovationsprozessen auseinandersetzen. Ein wichtiges Vehikel hierfür stellen Kooperationen mit Akteuren aus Industrie, Behörden und der Bevölkerung dar. Einer solchen Innovationsstrategie ein Gesicht zu geben, stellt eine der interessantesten Aufgaben dar, denen sich die EAWAG in Zukunft zuwenden will.

Dr. Bernhard Truffer
Leiter der Gruppe «ökologische Innovationen», Abteilung Humanökologie
EAWAG

Die Konkretisierung des Begriffs «nachhaltige Entwicklung» muss sich eingehend mit der *Nutzung* des Wassers auseinandersetzen. Die Versorgung der Bevölkerung und der Ökosysteme mit Wasser wird sich zu einem der drängendsten globalen Probleme entwickeln. Ohne Analyse sieht es so aus, als ob es qualitativ und quantitativ an Wasser mangelt, aber zu einem bedeutenden Teil ist dies auf ineffizienten Umgang mit dieser Ressource zurückzuführen. Verschiedene Studien zeigen nämlich, dass in fast allen Anwendungsgebieten enorme Sparpotentiale vorhanden sind. Einige Beiträge in diesem Heft skizzieren Wege, wie mit den Wasserressourcen nachhaltiger umgegangen werden könnte.

Daneben kann das Wasser aber noch eine weitere Rolle in der Konkretisierung von «Nachhaltigkeit» spielen: Global gesehen ist die Wasserkraft die bedeutendste regenerative Energiequelle und sollte deshalb gefördert werden. Auf der lokalen Ebene hingegen treten die negativen ökologischen Auswirkungen einer forcierten Wasserkraftnutzung zu Tage. Es wäre folglich sinnvoll, neue Kraftwerks- und Betriebsformen zu entwickeln, welche zwischen dem Widerspruch der «globalen» und «lokalen» Nachhaltigkeit vermitteln können. An der EAWAG ist ein Querschnittsprojekt unter dem Namen «Ökostrom» in Vorbereitung, welches sich mit dieser Problematik auseinandersetzen wird.

Beide Problemkreise müssen beachtet werden, wenn man die Nutzung des

EAWAG



Die EAWAG news sind das Informationsbulletin der EAWAG

Herausgeberin
Vertrieb und © by:
EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Tel.: +41-1-823 55 11
Fax: +41-1-823 53 75

Redaktion
Diana Hornung, EAWAG

Copyright
Abdruck, auch auszugsweise, ist unter Benachrichtigung der Herausgeberin und der Autorinnen und mit Quellenangabe «Abdruck aus den EAWAG news 43 D, 1997» gestattet

Erscheinungsweise
zweimal jährlich in deutsch, englisch und französisch

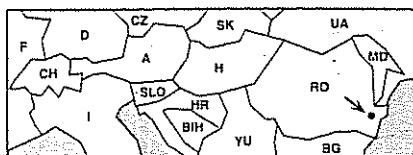
Satz, Bild und Layout
Peter Nadler, 8700 Küssnacht

Gedruckt
auf Umweltschutzpapier

Abonnemente und Adressänderungen
NeuabonnentInnen willkommen! Bitte Bestellauftrag auf der letzten Seite beachten.

ISSN 1420-3979

Legende zum Titelbild
Überfluteter Wald auf der Insel Fundu Mare im Donaodelta in Rumänien (siehe Pfeil, Fotograf: Virgil Iordache, mit freundlicher Bewilligung der Ökologieabteilung der Universität von Bukarest), siehe dazu Beitrag von Paul Brunner und Christian Lampert zum Donaeinzugsgebiet.



Alexander J.B. Zehnder

Wasser, ein knappes Gut?



Alexander J.B. Zehnder

Süsswasser wird die erste Ressource sein, die auch global knapp wird. Treffen die demographischen Entwicklungsvorhersagen zu, wird die Menschheit bereits in 20 bis 40 Jahren mehr Wasser verbrauchen, als durch Regen nachgeliefert wird. Konsequenter und sorgfältiger Mehrfachgebrauch von Wasser könnte die verfügbare Menge um etwa 70% erhöhen.

Globale Wasserbilanz

Erwa 2.5% des gesamten Wassers dieser Erde ist Süsswasser. Davon befinden sich rund 95% in den Polarkappen, Gletschern, ewigem Schnee und in Grundwässern, die tiefer als 1 km unter der Erdoberfläche liegen. Nur rund 5% können direkt durch den Menschen und andere Organismen genutzt werden [1]. Eine längerfristige, nachhaltige Wassernutzung kann sich ausschliesslich auf erneuerbare Süsswasserressourcen, den Regen, stützen. Regen wird ausschliesslich durch solare Energie erzeugt und erfüllt somit alle Bedingungen der Nachhaltigkeit. Wird dem Grundwasser und den Seen mehr Wasser entzogen, als durch Regen nachgeliefert wird, versiegen diese Quellen längerfristig. Beispiele sind der Aralsee, dessen Volumen seit 1950 um 80% reduziert wurde, oder die Tausende von Jahren alten Grundwasservorkommen der libyschen Sahara, die in den kommenden Jahren erschöpft sein werden.

Jährlich fallen etwa 90'000 bis 120'000 km³ Regen auf die Kontinente und Inseln dieser Erde, im Durchschnitt sind es 113'000 km³. Davon verdunsten etwa 65% und fliessen 25% in den Flüssen und in die Ozeane ab. Rund 14'000 km³ sind effektiv brauchbar. Ein Teil dieses Regens fällt in wenig besiedelten Gebieten (z.B. Sibirien) und kann nur schwer ge-

nutzt werden. 9000 bis 12'000 km³ stehen jährlich der Landwirtschaft, für die Trinkwassergewinnung oder als Brauchwasser für die Industrie zur Verfügung [2].

Wasser für die Nahrungsmittelproduktion

Der jährliche, globale Wasserverbrauch liegt heute bei etwa 5500 km³. Rund 2/3 davon verbraucht die Landwirtschaft. Dieses Wasser wird für die Nahrungsmittelproduktion benötigt. Als Faustregeln gelten:

- Aus 2 kg Weizen (Trockengewicht der gesamten Pflanze) kann 1 kg Brot hergestellt werden. Um dieses Pflanzenmaterial zu produzieren, wird mindestens 1 m³ Wasser verbraucht. Diese Menge Wasser nimmt die Pflanze auf, gibt aber einen grossen Teil davon als «Transpirationsverlust» an die Atmosphäre ab. An diesem Verlust durch die Transpiration kann aber wenig verändert werden. Selektion kleinerer Pflanzen und genetische Modifikationen könnten den Verlust möglicherweise um ein Viertel drücken. Effektiv brauchen die amerikanischen Farmer pro kg Weizen etwa 4 m³ Wasser. Pro kg Reis benötigen die Bauern in den Tropen rund 5 m³ [3].

- Ein kg Weizenmehl liefert dem Menschen etwa 3500 kcal [4]. Daraus lässt sich ableiten, dass für die Sicherstellung einer täglichen Zufuhr von 1000 kcal aus vegetarischer Nahrung pro Person und Tag jährlich 100 m³ Wasser nötig sind. Das ist die beste Schätzung, da sie keine Verluste miteinbezieht. Bei Verlusten (z.B. Schädlinge, Ernte- und Produktionsverluste, Verderben der Nahrungsmittel, etc.) steigt der Wasserbedarf entsprechend.

Land	Regen	Zufuhr	Total
Ägypten	35	1075	1110
Algerien	735	35	770
Deutschland	1235	965	2200
Holland	670	5350	6020
Israel	370	100	470
Marokko	1200	—	1200
Schweiz	6430	1130	7560
Spanien	2815	25	2840
USA	9940	—	9940

Tab. 1
Erneuerbare Wassermenge in m³ pro Kopf und Jahr.
Zufuhr = durch Flüsse aus dem Ausland. Die Angaben sind berechnet aufgrund der Daten in [5] und [8].

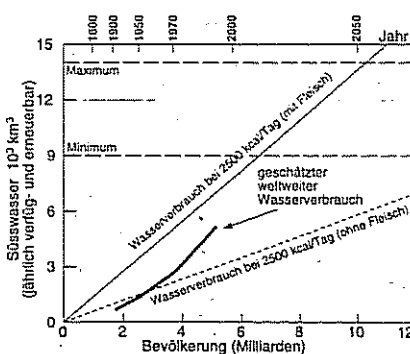


Fig. 1
Jährlicher Wasserverbrauch bei zunehmender Weltbevölkerung bei einem Nahrungsverbrauch von 2500 kcal pro Person und Tag. Die ausgezogene Linie entspricht einer Diät von 80% pflanzlicher Nahrung und 20% Fleisch, die unterbrochene Linie entspricht einer rein vegetarischen Ernährung. Diese Linien sind unter Einbezug von 250 m³ Wasser für Haushalt, Dienstleistungen und Industrie berechnet. Die gestrichelten Linien bei 9000 und 14'000 km³ geben das Minimum und Maximum der jährlich verfügbaren und erneuerbaren, globalen Süsswasserressourcen an. Die dicke Linie entspricht dem geschätzten effektiven, weltweiten Wasserverbrauch.

Die Verluste liegen momentan zwischen 20 und 50%. Heute wird mit einem mittleren Verlust von 40% gerechnet.

• Zur Produktion von 1 kcal Fleisch werden etwa 4.5 bis 16 kcal pflanzliche Nahrung benötigt. Als Mittel kann von 10 kcal ausgegangen werden.

Bei einer täglichen Diät von 2500 kcal, die 100% vegetarisch ist, sind jährlich pro Person 350 m³ Wasser nötig, bei 80% pflanzlicher Nahrung und 20% Fleisch, erhöht sich der Wasserverbrauch auf 980 m³. Bei diesen Zahlen sind 40% Verlust bei der Bereitstellung der pflanzlichen Nahrung für Mensch und Tier miteinbezogen.

Wasser für Haushalt und Industrie

Westeuropäische Länder verbrauchen zusätzlich rund 250 m³ Wasser pro Person und Jahr. 140 m³ gehen zu Lasten der industriellen Produktion, der Rest wird für die Bereitstellung von Trink- und Brauchwasser für den privaten Haushalt und andere Aktivitäten, z.B. Servicesektor (Hotels, Restaurant, Spitäler) benötigt. In Nordamerika müssen für die selben Aktivitäten rund 380 m³, in Afrika rund 30 m³ bereitstehen. Der Unterschied zwischen Nordamerika und Westeuropa liegt vor allem im Mehrverbrauch in den privaten Haushalten und im Service-sektor [5].

Wieviel Wasser benötigt der Mensch?

Total liegt der Wasserverbrauch pro Person und Jahr zwischen 800 m³ und 1200 m³, mit Ausreissern nach oben und unten. Laut [6] können Länder mit weniger als 1700 m³ erneuerbarem Wasser pro Kopf und Jahr dieses nicht mehr frei verwenden, unterhalb von 1000 m³ beginnt die Knappheit, und bei weniger als 500 m³ herrscht absoluter Mangel. In der Schweiz ist Wasser im Überfluss vorhanden. Wäre Deutschland alleine auf den Regen angewiesen müsste es dem Wasser bereits mengenmässig Rechnung tragen

und in Holland wäre Wasser bereits ein knappes Gut. Die Flüsse, deren Quellen ausserhalb dieser Länder liegen, gleichen die nationale Wasserbilanz mehr als aus (Tab. 1).

Wie lange reicht das Wasser?

Ausgehend von den bestehenden Daten und den Ernährungsgewohnheiten der industrialisierten Welt, würde der jährliche Wasserverbrauch 2020 bei rund 9000 km³ liegen und in 2040 bei 12'000 km³ (Fig. 1). Je nach Annahmen wird der erneuerbare Teil der Ressource Wasser in den nächsten 20 bis 40 Jahren bereits global knapp. Regional herrscht schon heute in vielen Ländern Wasserknappheit.

Wie weiter?

Wasser ist die erste Ressource, deren Knappheit uns alle herausfordern wird. Die meisten von uns werden bereits in den nächsten 20 bis 30 Jahren mit dem Wasserproblem in irgendeiner Form konfrontiert werden. Wasser spielt in den meisten Bereichen unseres Lebens eine essentielle Rolle. Ohne die nötigen, politischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Vorkehrungen wird Wasserknappheit die wirtschaftliche Entwicklung behindern, das Potential von Interessenkonflikten erhöhen und die negativen Effekte der demographischen Entwicklung verstärken. Solange Frauen und Kinder lange Wege zur Beschaffung des täglich nötigen Wassers zurücklegen müssen, bleibt ihnen keine Zeit sich zu bilden und zur wirtschaftlichen Entwicklung ihrer Region beizutragen. Dazu kommt, dass sich gerade arme und ungebildete Frauen viele Kinder wünschen [7]. Mögliche Folgen von Wassermangel (und folglich auch Nahrungsmangel), Armut, und Bevölkerungsdruck sind wirtschaftliche und politische Konflikte sowie Migrationen, deren Auswirkungen weit über die betroffenen Regionen reichen werden.

Ein konsequenter und sorgfältiger Mehrfachgebrauch des Wassers könnte in den von Mangel betroffenen Regio-

nen die verfügbare Menge um 70% erhöhen. Um dies zu erreichen, sind ökonomische Instrumente notwendig: Wasser muss von einem freien zu einem ökonomischen Gut werden. Leider fehlen heute konkrete Vorstellungen wie dies genau zu geschehen hat. Selbst die entwickelten Ländern wie z.B. die Schweiz tun sich schwer, solche Schritte in allen ihren Konsequenzen zu vollziehen (z.B. CO₂-Gesetzgebung).

Öffentlichkeit, Entscheidungsträger und Wissenschaftler müssen in viel grösserem Masse für die Herausforderung Wasser sensibilisiert werden. Nur so werden wir alle vermehrt der Wasserfrage bewusst und können kreativ zu deren Lösung beitragen. Wasser wird in sehr starkem Masse zur Überlebensfrage der Menschheit. Da seine Regeneration über den Regen direkt an die solare Energie gekoppelt ist, ist der Wasserhaushalt ein hervorragendes Beispiel zur Entwicklung von Nachhaltigkeitskriterien für den verantwortlichen Umgang mit Ressourcen.

- [1] Shikdomanov, I.A., (1993): World fresh water resources. In: Water in crisis, P.H. Gleick, Editor. Oxford University Press, pp. 13-24.
- [2] Postel, S., (1996): Dividing the waters: food security, ecosystem Health, and the new politics of scarcity. Worldwatch paper 132, Worldwatch Institute.
- [3] Rogers, P. P., (1985): Fresh water. In: The global possible: resources, development, and the new century, P. Repetto, Editor. Yale University Press, New Haven, pp. 255-298.
- [4] Kates, R.W., R.S. Chen, T.E. Downing, J.X. Kasperson, E. Messer, and S.R. Millman, (1989): The hunger report: Update 1989. Alan Shawn Feinstein World Hunger Program, Brown University.
- [5] Raskin, P., E. Hansen, and R. Margolis, (1995): Water and sustainability: a global outlook. Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- [6] Falkenmark, M. and C. Widstrand, (1992): Population and water resources: a delicate balance. Population bulletin 47:3. Washington, D.C.: Population Reference Bureau.
- [7] Campell, B.M., R.F. Du Toit, C.A. Atwell, (1989): The Save Study. University of Zimbabwe Press, Harare.
- [8] Gleick, P. H., Editor, (1993): Water in crisis. A guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press.

Martin Wegelin und Roland Schertenleib

Angepasste Wasseraufbereitung hilft allen



Roland Schertenleib und Martin Wegelin

Wasser wird zur Mangelware, besonders auch in vielen Entwicklungsländern. Mehrfache Nutzung verlangt eine Aufbereitung. Knappe Ressourcen fördern die erfolgreiche Anwendung einfachster, ökologisch verträglicher Wasseraufbereitungsmethoden. Hier liegt eine Chance, für die Drittwelt-Länder wie für uns.

Schlechteres Wasser für immer mehr Menschen

Global und vorallem regional wird Wasser zu einer knappen, quantitativ und qualitativ gefährdeten Ressource. Länder, deren Angebot an erneuerbaren und nutzbaren Wasserressourcen (Niederschläge) unter 1000 m^3 pro Kopf und Jahr liegt, müssen nach heutigem Wissen und bei der Anwendung konventioneller Technologien und Praktiken als «wasserarm» eingestuft werden, d.h. Wasser wird zu einem limitierenden Faktor für die Nahrungsproduktion, die Siedlungshygiene und die ökonomische Entwicklung. Zu dieser Kategorie gehören heute bereits 26 Länder mit einer gesamten Bevölkerung von über 320 Millionen. Im Mittleren Osten und Nordafrika leben bereits heute mehr als die Hälfte der Bevölkerung in wasserarmen Ländern.

Mit der zunehmenden Bevölkerung und industriellen Entwicklung werden sich in den nächsten Jahren und Jahrzehnten die Probleme der Wasserknappheit akut verschärfen, falls nicht die Bevölkerungszahl stabilisiert, vor allem aber ein sparsamerer Umgang mit der Ressource Wasser erreicht wird. Quantitativ gesehen liegt in der Landwirtschaft, welche rund 70% des genutzten Wassers ver(sch)wendet, das grösste Sparpotential. Durch die Anwendung von effizienteren Bewässerungsmethoden sowie die vermehrte Verwendung von Abwasser zu Bewässerungszwecken liesse sich mit relativ wenig Aufwand viel Wasser einsparen. Im industriellen Bereich, der rund 20% des genutzten Wassers verwendet, liesse sich durch konsequenteres Wasser-Recycling ebenfalls bedeutende

Wassermengen einsparen. Für die Trinkwasserversorgung werden nur rund 10% des genutzten Wassers verwendet. Dieser quantitativ geringste Anteil stellt allerdings die höchsten Anforderungen bezüglich Qualität des Wassers. Mit der wachsenden Bevölkerung und der zunehmenden Industrialisierung verschärfen sich nicht nur die Konflikte zwischen den erwähnten Nutzungsarten in quantitativer Hinsicht, gleichzeitig verschlechtert sich auch die Qualität der vorhandenen Wasserressourcen und damit gewinnt die Wasseraufbereitung immer mehr an Bedeutung.

Der Forschungsbereich «Siedlungshygiene in Entwicklungsländern» (SANDEC) an der EAWAG befasst sich unter anderem mit der Entwicklung angepasster Wasseraufbereitungsprozesse. Nach einem kurzen Blick auf die Probleme der Trinkwasseraufbereitung in Entwicklungsländern werden zwei massgeblich von der EAWAG entwickelte Verfahren vorgestellt.

Probleme der Trinkwasseraufbereitung

Feststoffhaltiges Oberflächenwasser wird in der konventionellen Trinkwasseraufbereitungstechnologie oft in drei Verfahrensstufen – Flockung/Sedimentation, Schnellsandfiltration und Desinfektion – aufbereitet. Dabei gelangen Chemikalien zur Destabilisierung der Suspension, Flockungshilfsmittel, pH-Korrektur, Oxidation und Desinfektion zum Einsatz. Eine solche Aufbereitung verlangt eine intensive Überwachung der Wasserqualität, eine adäquate Chemikaliendosierung sowie einen guten technischen Unterhalt der

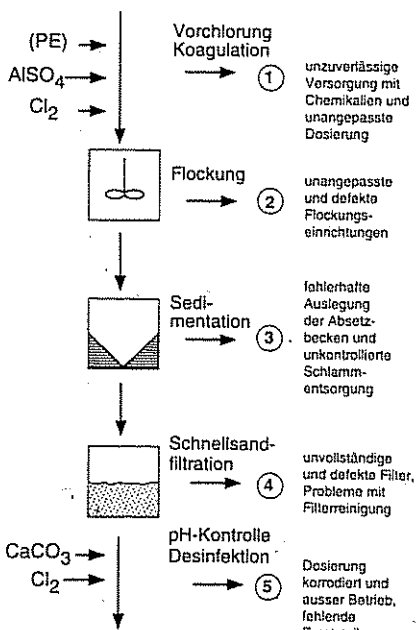


Fig. 1
Häufige Probleme bei konventionellen Trinkwasseraufbereitungsanlagen in Entwicklungsländern.

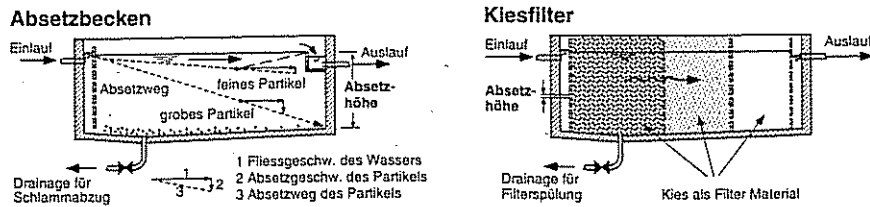


Fig. 2
Funktionsweise eines horizontal durchströmten Absetzbeckens und Kiesfilters.

Anlagen. Solche betrieblich und technisch anspruchsvolle Anlagen wurden auch in Entwicklungsländer gebaut.

Die Erfahrung in Entwicklungsländern zeigt aber, dass diese Anlagen oft schlecht betrieben und mangelhaft gewartet werden und vielfach ausser Betrieb sind. Fig. 1 stellt einige Probleme dar, welche häufig auftreten. Der Chemikalieneinsatz krankt an den Problemen des unzuverlässigen Nachschubes und der ungenauen Dosierung. Das feucht-tropische Klima setzt den Einrichtungen zu und der zeitgerechte Nachschub von Ersatzteilen ist nicht gesichert. Aus diesen Gründen scheitert unsere konventionelle Technologie der Trinkwasseraufbereitung oft in ländlichen Wasserversorgungen. Alternative Aufbereitungsprozesse sind deshalb gefragt.

Kies- und Sandfilter

Für die hygienische Verbesserung der Wasserqualität haben sich zwei Verfahren bewährt, die Chlorierung und die Langsandsandfiltration. Aus betrieblichen Überlegungen und Erfahrungen, wie sie eben dargestellt wurden, ist eine zuverlässige und effiziente Trinkwasser-Chlorierung in den meisten ländlichen Wasserversorgungen von Entwicklungsländern nicht durchführbar. Deshalb werden heute wieder vermehrt Langsandsandfilter gebaut. Beide Verfahren verlangen aber für eine wirksame Hygienisierung unter anderem ein relativ trübstoffarmes Wasser:

Tropische Oberflächengewässer sind während der Regenzeit und oft über das ganze Jahr wegen der grossen Bodenerosion sehr trüb. Feststoffe lassen sich zum Beispiel durch ein horizontal durchflossenes Absetzbecken abtrennen, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Während der Durchflusszeit sinken die Feststoffe auf den Boden des ungefähr 2–3 m tiefen Absetzbeckens. Die

feineren Schwebstoffe mit einer kleineren Sinkgeschwindigkeit werden nur teilweise abgetrennt.

Der Einbau von groben Kies kann die Reinigungsleistung von Absetzbecken stark erhöhen. Die Absetzfläche in einem mit Kies gefülltem Becken wird um ein hundertfaches vergrössert und im Porensystem des Filters müssen die Feststoffe nur noch wenige mm sinken, bis sie auf die Kiesoberfläche auftreffen. Im Gegensatz zur Flockungssedimentation brauchen Kiesfilter keine Chemikalien und besitzen eine hohe Prozessstabilität und Betriebssicherheit, weshalb sich Kiesfilter besonders für die Feststoffabtrennung in ländlichen Trinkwasseraufbereitungsanlagen von Entwicklungsländern eignen.

Intensive Forschungsarbeiten im Labor der EAWAG [1] und in Feldversuchen mit SANDECs Partnern in Drittweltländern führten zur Entwicklung der Kiesfilter-Technologie [2]. Umfangreiche Untersuchungen auf dem Gebiet der Kies- und Sandfiltration wurden von SANDECs Partner CINARA in Cali, Kolumbien durchgeführt [3]. Dank vorgeschalteten Kiesfiltern wird der Einsatz von Langsandsandfiltern auch für stark schwebstoffhaltiges Oberflächenwasser möglich. Diese Verfahrenskombination vermag die Faecal-coli-Konzentration um 4–5 Zehnerpotenzen zu reduzieren (Gesamtreinigungsleistung über 99.99%).

Solare Wasser Desinfektion

Die Bevölkerung in Entwicklungsländern ist auf Selbsthilfe angewiesen, falls eine öffentliche Wasserversorgung fehlt oder diese Wasser von mangelhafter Qualität verteilt. Die Aufbereitung beschränkt sich meistens auf jenes Wasser, welches direkt als Trinkwasser gebraucht wird. Das Abkochen von Wasser wird allgemein empfohlen, ist aber oft kaum realisierbar, weil ent-

Zuviel Wasser in Kamerun...

Die Regenzeit in der Westprovinz dauert vom Mai bis in den Oktober und ist mit 4000 mm Niederschlag sehr ergiebig. Helvetas begann in diesem Hügelland, welches mit Regenwäldern überdeckt war, vor 30 Jahren mit dem Bau von Wasserversorgungen. Die Sandfilter, welche das klare Bachwasser filterten, funktionierten zunächst einwandfrei. In den letzten 15 Jahren wurde ihr Betrieb aber immer schwieriger, einige Filteranlagen wurden gar ausser Betrieb genommen. Was war geschehen?

Die ursprünglich gut geschützten Einzugsgebiete konnten dem Bevölkerungsdruck und der Habgier einzelner Kollaborateure nicht standhalten. In Brandrodungen wurde neues Land für die Landwirtschaft erschlossen und das wertvolle Tropenholz für den Export geschlagen. Bodenerosion setzte ein und verstopfte damit die Sandfilter. Unter Anleitung der EAWAG werden nun Kiesfilter gebaut und damit die Sandfilteranlagen ergänzt. Klares und einwandfreies Wasser fliesst wieder in die Dörfer, welche sich aber auch verpflichten mussten, ihre Einzugsgebiete durch eine zweckmässige Landwirtschaft und durch Aufforstungen fortan zu schützen, denn eine nachhaltige Wasserversorgung fängt beim Schutz der Ressourcen an.

... und zuwenig in Bolivien

In den Anden auf 3500 m ü.M. regnet es sehr selten, nur 400 mm Niederschlag sind dort jährlich zu erwarten. Entsprechend karg ist auch die Vegetation. Die Indios in ihren Streusiedlungen leben vom bescheidenen Ackerbau und der Kleintierzucht. Das spärliche Wasser wird aus verschmutzten Flussrinnalen geholt. Es gibt kaum Brennholz und gekocht wird häufig mit Tierdung. Die Bevölkerung leidet an Durchfallerkrankungen und immer wieder flackert die Cholera auf.

Seit kurzem sind auf dem lokalen Markt Flaschen aufgetaucht, welche mit Wasser gefüllt an die Sonne gestellt werden. Die Indios nehmen die Flaschen auch mit aufs Feld und löschen damit nach getaner Arbeit ihren Durst. Die Sonne ist in ihrer Kultur sehr zentral, sie steht für Kraft und Gesundheit, welche sie auch auf das Wasser überträgt. Gelingt der Versuch, so könnte sich das Verfahren bald einmal über die ganzen Anden ausbreiten, wo sich die Leute in den Tälern immer noch vor der Cholera fürchten.

weder Brennholz oder Kerosen Mangelware ist, und wenn vorhanden, vor allem für die Nahrungsmittelzubereitung verwendet wird. Aus diesem Grunde besteht ein grosses Interesse an neuen individuellen Aufbereitungsmethoden, welche unter sehr ärmlichen Bedingungen eingesetzt werden können. Die solare Wasserdesinfektion ist ein solches potentiell Verfahren.

Die bakterizide Wirkung der Sonnenstrahlung ist schon lange bekannt. Ihre Nutzung für die Trinkwasser-

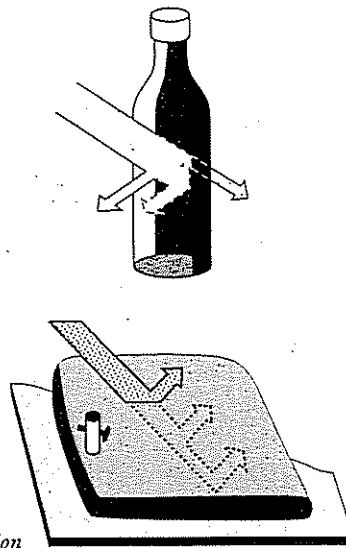
aufbereitung wurde verschiedentlich untersucht [4, 5], die Resultate dieser Feldversuche waren teilweise widersprüchlich [6]. 1991 begann die EAWAG mit Labor- und Feldversuchen, das Potential des Sonnenlichts für die Trinkwasser-Entkeimung zu erforschen und geeignete Aufbereitungsverfahren zu entwickeln. Dabei wurden Bakterienkulturen (*E. coli*, *Str. faecalis* und Enterokokken), Virenkulturen (EMC Viren und Rotaviren) als auch Bakteriophagen (f2) in den Bestrahlungsversuchen verwendet. Bis anhin wurde von der Sonnenenergie entweder das Licht (Behandlung durch Bestrahlung) oder die Wärme (Behandlung durch Pasteurisierung) für die Entkeimung von Trinkwasser getrennt verwendet.

Durch eine kombinierte Anwendung dieser zwei Verfahren entstehen aber Synergien, welche das Potential der solaren Wasserdesinfektion wesentlich steigert, wie dies mit den Laborversuchen nachgewiesen wurde [7]. Feldversuche, welche mit natürlichen Bakteriengemischen in Kolumbien, Jordanien und Thailand durchgeführt wurden, bestätigen die EAWAG Resultate. Ferner gelang der Nachweis, dass auch der Erreger der Cholera (*Vibrio cholerae*) durch die solare Desinfektion effizient inaktiviert wird [8].

Die Exposition von Wasser in transparenten Flaschen, welche auf der Rückseite zur Erhöhung der Wärmeabsorptionskapazität schwarz bemalt sind, stellt die einfachste Anwendung der solaren Wasserdesinfektion dar. Fig. 3 zeigt den Temperaturverlauf und die Abnahme von Faecal coli in derart aufgestellten und bemalten Coca-Cola Flaschen. Mit Vorteil können auch Plastiksäcke für die Wasserentkeimung eingesetzt werden, weil das Wasser durch geringe Wassertiefe und grössere Expositionsfläche dem Sonnenlicht stärker ausgesetzt ist. Diese Beispiele belegen das Potential der solaren Wasserdesinfektion auf eindruckliche Art.

Durchlaufsysteme können die Produktionskapazität von solaren Desinfektionsanlagen wesentlich erhöhen. In solchen Systemen fließt das Wasser

Fig. 3
Inaktivierung von Faecal Coli und *Vibrio cholerae* durch solare Wasser-Desinfektion in Flaschen und Plastiksäcken.



unter Schwerkraft vom hochgestellten Rohwassertank über das Expositionsgefäß in den Reinwassertank, wobei das behandelte warme Wasser über einen Wärmetauscher das kältere Rohwasser aufwärmt. Dadurch wird die aufgenommene Sonnenenergie im System rezirkuliert und gleichzeitig erfährt das behandelte Wasser eine gewünschte Abkühlung. Dabei beträgt die Tageskapazität etwa 100 Liter pro m² Kollektorfläche.

In einer Marktstudie wurde das Interesse und die Anwendungsmöglichkeiten der solaren Wasserdesinfektion abgeklärt. Zurzeit werden in 9 verschiedenen Entwicklungsländern Demonstrationsprojekte durchgeführt, um die sozio-kulturelle Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit dieser einfachen Behandlungsmethode abzuklären.

Lokales Handeln für globalen Nutzen

Warum sollen sich Leute, die täglich um ihr Überleben kämpfen, sich um ökologische oder gar globale Zusammenhänge kümmern? Selbst ein verschärftes Problembewusstsein führt bei uns selten zu einem verändertem Verhalten. Der Einzelne hat gelernt, mit der Diskrepanz von Bewusstsein und persönlichem Handeln zu leben.

Die Not zwingt aber zum Handeln. Und diese öffnet den Weg für die Entwicklung angepasster, ökologisch sinnvoller Lösungen. Die solare Was-

serdesinfektion beispielsweise ist einfach, kostengünstig und zweckmässig, sie verringert zudem weltweit die Entwaldung zu Brennholzzwecken.

Für eine umweltschonende Ressourcennutzung sind Einstellungs- und Verhaltensänderungen nötig. Mit der Förderung energiesparender Technologien, welche vorallem auch wiedererneuerbare Ressourcen nutzen, investieren wir in eine nachhaltigere Entwicklung, die auch für uns letztlich lebenswichtig wird.

- [1] Wegelin M., Boller M. and Schertenleib R., Particle Removal by Horizontal-flow Roughing Filtration, AQUA, No. 2, 1987.
- [2] Wegelin M. Surface Water Treatment by Roughing Filters, SANDEC Report No. 2/96, Intermediate Technology Publications, London, 1996.
- [3] CINARA, Proyecto integrado de investigación y demostración de métodos de pretratamiento para sistemas de abastecimiento de Agua, CINARA/IRC 1989.
- [4] Acra, A., Raffoul, Z., and Karahagopian, Y., Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions, UNICEF, 1984.
- [5] Acra, A., Jurdi, M., Mu'Allem, H., and Karahagopian, Y. Water disinfection by solar radiation, IDRC, 1990.
- [6] Lawand, T.A., Alward, R., Odeyemi, O., Hahn, J., Kandpal, T.C., and Ayoub, J. (Editors), Solar water disinfection, Proceedings of a workshop held at the Brace Research Institute, Montreal, Canada, IDRC, 1988.
- [7] Wegelin M., Canonica, S., Mechsner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F. and Metzler, A. Solar Water Disinfection: Scope of the Process and Analysis of Radiation Experiments, AQUA, No. 4, 1994.
- [8] Sommer B., et al SODIS - an Emerging Water Treatment Process, AQUA, No.3, 1997 (in press).

Saul Arlosoroff*

Israel – eine Fallstudie über die Wassernutzung



Saul Arlosoroff

Entwicklungs- und Wasserexperten, die sich für den Mittleren Osten und für die ökonomische Entwicklung von halbtrockenen Ländern interessieren, fragen sich oft: Wie kann Israel mit weniger als 300 Kubikmeter Wasser pro Einwohner und Jahr gedeihen? Internationale Organisationen bezeichnen Länder mit weniger als 1000 m³ als hoch belastet.

Dieser Artikel versucht, die Politik, die gesetzlichen Hintergründe und einige ökonomische Ansätze zu erklären, die Israel zu den hier aufgeführten Erfolgen geführt haben: ein jährliches pro Kopf Bruttoinlandprodukt (GDP) von \$ 16'000, viele seiner Bedürfnisse an landwirtschaftlichen Produkten decken zu können (ausser Getreide), landwirtschaftliche Produkte zu exportieren und einen hohen Lebensstandard aufrecht zu erhalten – all dies mit sehr beschränkten Süßwasserressourcen. Nachfolgend werde ich die Bewirtschaftung, basierend auf Angebot und Nachfrage (auch Wassersparstrategien oder Programm für erhöhte Effizienz der Wassernutzung genannt) erläutern [1–7].

Um der wachsenden Nachfrage nach Wasser entgegen zu kommen, konzentriert sich Israels Politik auf die Nachfrage und Versorgung sowie auf Investitionen. Die langfristige Lösung wäre die Entsalzung von Meerwasser. Die heutigen Bemühungen bezwecken, die Entwicklung dieser teuren, aber unbeschränkten Wasserressource mit entsprechend hohen Investitions- und Nebenkosten möglichst hinauszuzögern. Die drei wichtigsten Instrumente dazu sind:

- **Die Wiederverwertung von gereinigten Abwässern:** Neue Vorschriften haben den Grad der Abwasserreinigung erhöht, um ihr Potential für die Wiederverwertung zu maximieren und die Gesundheits- und Umweltrisiken zu minimieren. Zudem werden die Vereinbarungen für den Austausch von Süßwasserzuteilungen gegen gereinigtes Abwasser verbessert, vor allem in Bezug auf die Bewässerung und Wassereinsparung.

- **Wassersparmassnahmenerhöhte Effizienz des Wasserverbrauchs:** Es wird eine Kombination verschiedenartiger Massnahmen angewendet, u.a.:

- (a) Zuteilungen, Normmengen und progressive Blockraten für jeden Sektor (HKI: häusliches, kommerzielles, Bewässerungs- oder Industrierwasser,

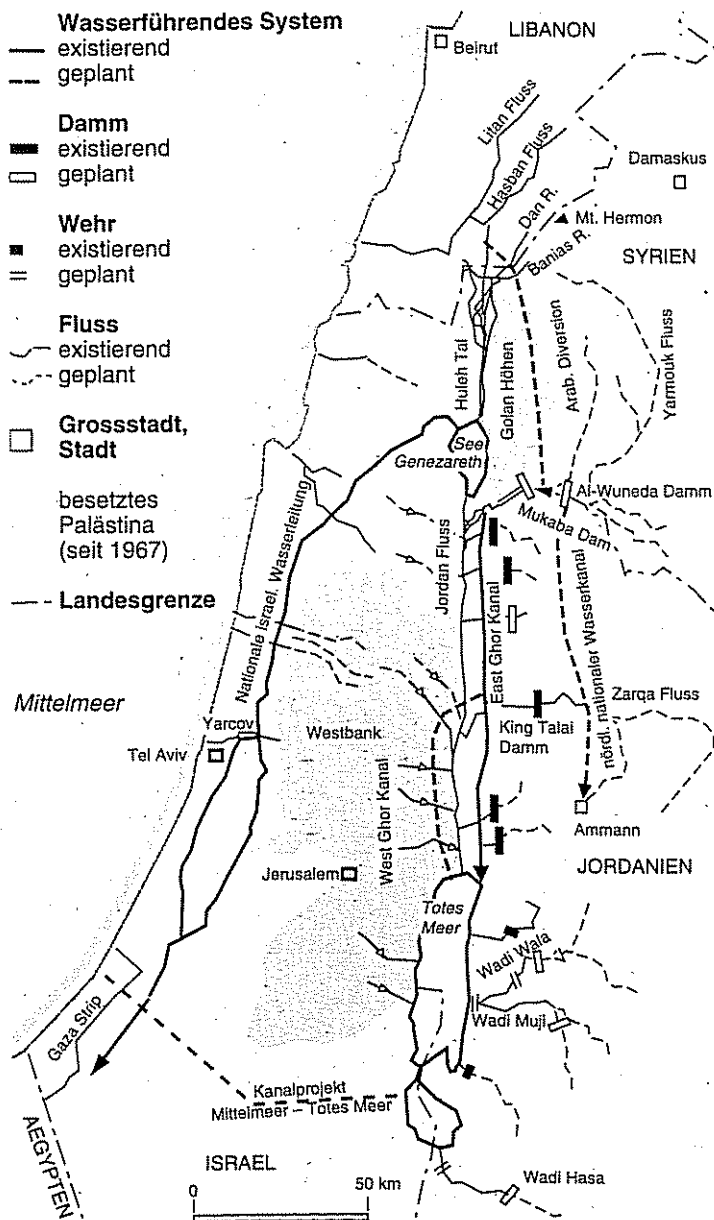


Fig.1
Oberflächenwasser des Jordan/Yarmouk-Beckens. Es werden existierende und vorausgeplante Wasserumleitungen gezeigt.

* Saul Arlosoroff, Consulting Ingenieur, leitender Berater «Harry S. Truman Research Institute for the Advancement of Peace», Hebrew University, Jerusalem, P.O. Box 951, Ramat-Gan 52109, IL, Tel: (972 3) 731 7950, Fax 7960 or Tel: (972 50) 507742, e-mail: sarlo@inter.net.il.

Wasser- verbrauch 1989 → 2040	Bevölkerung	häuslicher Verbrauch Total	Verbrauch pro Kopf	Total industrieller Verbrauch	Bewässerungs- Fläche	Total Bewässe- rungsverbrauch	Bewässerungs- rate	Gesamter Verbrauch
	10 ⁵	10 ⁶ m ³ /J	m ³ /J	10 ⁶ m ³ /J	ha	10 ⁶ m ³ /J	m ³ /ha/y	10 ⁶ m ³ /y
Israel	5.0 → 12.8	495 → 1280	100 → 100	115 → 260	200'000 → ND	1100 → 1900	5500 → ND	1710 → 3440
West Bank	1.0. → 3.8	35 → 380	35 → 100	5 → 40	10'000 → ND	100 → 350	10'000 → ND	140 → 770
Gaza	0.7 → 2.6	20 → 260	25 → 100	-	5000 → ND	60 → 100	11'000 → ND	80 → 360
Jordanien	3.6. → 16.9	170 → 1700	50 → 100	40 → 180	70'000 → ND	760 → 550	10'850 → ND	970 → 2430
Total	10.3 → 36.1	720 → 3620		160 → 480		2020 → 2900		2900 → 7000

Tab. 1

Realer sowie vorausgesagter Wasserverbrauch (ND = keine Zahlen bekannt) [1].

inklusive Wasser für die Spitäler, zum Autowaschen, usw.), und (b) Erforschung, Entwicklung und Implementierung von Landwirtschaftstechniken sowie von technologischen Möglichkeiten, um die Effizienz der Wassernutzung zu verbessern unter gleichzeitiger Reduktion des Verbrauchs im privaten häuslichen, kommerziellen und industriellen Bereich mit Einbezug von fortschrittlicher Bewässerung bei Stadtparks, in Gärten und in der Landwirtschaft (z.B. durch hydraulische oder elektronisch gesteuerte Tropfbewässerung und verlustarme Sprinkleranlagen).

• **Wasserzuteilungen der Sektoren:** Kürzlich wurden bedeutende Änderungen in der Handhabung des Systems eingeführt, u.a. die Abschaffung von städtischen Zuteilungen, die Einleitung von Massnahmen, falls der unerfasste Verbrauch über tragbare Mengen steigt. Die Möglichkeit eines Handels mit Wasser wurde durch Zuteilungen auf der Basis von ökonomischen Gegebenheiten eingeführt. Dieser Handel kann zwischen Mitgliedern desselben Sektors, zwischen einzelnen Sektoren oder auch zwischen Israel und seinen Nachbarn stattfinden.

Israels heutige Einwohnerzahl von ca. 5.7 Millionen wächst mit ca. 2.2–2.5% pro Jahr. Für das Jahr 2020 wird aufgrund bestmöglicher Schätzungen eine Einwohnerzahl von 10–13 Millionen vorausgesagt.

Der mittlere jährliche (häusliche, kommerzielle, industrielle) Wasserverbrauch pro Kopf beträgt heute ca. 110 m³, wobei bislang schon Einsparungen von ca. 30% erzielt worden sind. Heutige Prognosen für die Industrie und den Wasserverbrauch pro Kopf rechnen bis zum Jahr 2020 insgesamt mit einem Verbrauch von 110–120 m³ pro Kopf und Jahr. Diese

Zahlen basieren zudem auf einem viel höheren Lebensstandard und einer sehr strengen, weiterreichenden Implementation der Wasserverbrauchspolitik. Der jährliche städtische Wasserbedarf wird deshalb um 1.0–1.3·10⁹ m³ Süßwasser für die vorausgesagte Einwohnerzahl liegen.

Der unflexible jährliche landwirtschaftliche Wasserbedarf für die notwendige Produktion von verderblichen Nahrungsmitteln (z.B. Milchprodukte, Eier und Gemüse) wird auf 25–30 m³ pro Kopf geschätzt; dies bedeutet eine zusätzliche Menge von 0.22–0.33·10⁹ m³/J. Der städtische und landwirtschaftliche Verbrauch von Süßwasserressourcen wird deshalb allein für Israel auf ca. 1.20–1.65·10⁹ m³/J bis ins Jahr 2020 geschätzt. Israel verfügt heute über eine maximale Menge von 1.70·10⁹ m³.

Die Wiederverwertung von gereinigtem Abwasser in Israel wird 70–75% des totalen HKI-Verbrauchs erreichen, was beinahe 100% des totalen gereinigten Abwasserflusses entspricht (bis 2020 werden alle Einwohner einer Abwasserreinigung angeschlossen sein). Der geschätzte Fluss von gereinigtem Abwasser im Jahr 2020 wird auf ca. 0.7–1.0·10⁹ m³/J geschätzt (vgl. Daten in Tab. 1, die sich allerdings auf das Jahr 2040 beziehen).

Nachfrage und Versorgung

Tatsächlich verfügt die Bewirtschaftungspolitik über eine Vielzahl möglicher Lösungen, die den Druck von Nachfrage und Versorgung in diesem Gebiet signifikant verändern können: Die Reduktion von Regierungssubventionen für Wasser beeinflusst die Preise, die Nachfrage und öffentliche Finanzierung von Wasserversorgungsprojekten. Israels flächendeckende Politik der

Siebzigere Jahre – die Bewirtschaftung gemäss Nachfrage – führte zu einer signifikanten Wertzunahme pro einer Wasser- oder Landeinheit: Die Industrieproduktion pro verbrauchter Wassereinheit wurde in dieser Zeitspanne um mehr als 80% gesteigert (Fig. 2–4).

Israel hat schon eine Vielzahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen ergriffen, u.a. Anpassungen der Wasserraten, Regierungsanreize, Strafmassnahmen und Investitionskredite, um die Effizienz des Wasserverbrauchs zu steigern, verbesserte Forschung und Entwicklung, Beratungsstelle zur Unterstützung der Bauern bei Boden- und Wasserproblemen sowie die lokale Produktion von technologischen Hochqualitätssystemen. Diese Massnahmen führten zu einer verminderten Wassernachfrage und ermöglichten den Behörden, die Wasserzuteilungen zu reduzieren, ohne die Nettoeinkommen der Produktionssektoren zu beeinträchtigen (Fig. 2 für die Hauptparameter der Strategie Israels).

Bewirtschaftung basierend auf Nachfrage in Landwirtschaft und Industrie

Dieses Ziel bedarf fortwährender technologischer sowie ökonomischer Bemühungen, um den zukünftigen Wasserverbrauch zu reduzieren und um die Effizienz der Wassernutzung in der Landwirtschaft zu steigern. Zusätzlich entstehende Kosten des Wassersparens in Israel bewegen sich zwischen 0.04 und 0.05 US\$/m³. Die Bewässerungszahlen basieren auf der Annahme von erhöhter Produktion pro Wassereinheit unter realen Bedingungen; sie widerspiegeln gewisse Änderungen im Grundproduktionszyklus: die Umstellung zu ökonomischeren Fruchtfolgen und veränderten Industrieprozessen.

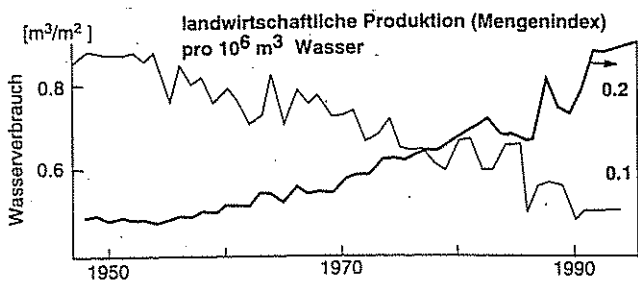


Fig. 2

Der landwirtschaftliche Sektor (Israel)

a) Wassernutzung für 1948–1992 in m^3 pro $100 m^2$

b) Effizienz der Wassernutzung – Wasserrücklauf, bei konstanten Preisen.

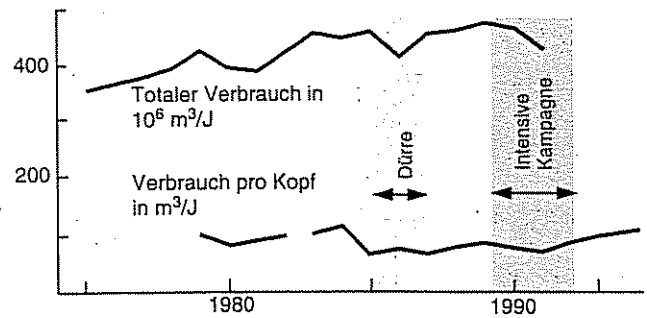


Fig. 3

Städtischer Gesamtverbrauch pro Kopf.

Direkte sowie indirekte Wasserproduktion – durch Einsparungen oder durch erhöhte Effizienz der Wassernutzung – sind sehr wichtig, da sie eine permanente Reduktion der Nachfrage bedeuten.

Städtische Wassersparrmassnahmen

Nicht nachgewiesene Wasserverlustmengen («unaccounted-for water», UFW) verursachen bei den städtischen Wasserversorgungen signifikante Wasserverluste und finanzielle Einbussen in der Höhe von 0.15–0.30 US\$/ m^3 . Dieses Geld wäre besser investiert in zusätzlichen Schutz- und Unterhaltsbestrebungen. In Israel konnten solche Verluste merklich reduziert werden, bleiben aber ein gravierendes Problem in anderen Ländern des Mittleren Ostens, wo in einigen Städten die Verlustraten bei über 50% liegen (davon sind 50% auf die Versickerung zurückzuführen, d.h. bis zu $30 m^3$ pro Kopf).

Die Wiederverwertung von gereinigtem menschlichen Abwasser

Was die Nachfrage nach Wasser von seiten der bestehenden Industrien betrifft, hat Israel die meisten seiner Bestrebungen zur Einführung neuer Pläne für die Wassernutzung schon abgeschlossen; neue Industrien installieren zur Zeit effiziente Kühlsysteme und vorentworfene Kaskadeneinrichtungen. Die Preisfestlegung und die Kosten für die Einleitung von Abwässern werden allmählich implementiert und tragen ihren Teil zur Bewirtschaftung industrieller Abwässer bei. Viele Industrien liegen auf städtischem

Gebiet und verursachen zusätzliche Betriebskosten.

Die Wiederverwertung von gereinigtem Abwasser sollte im Kontext von Gewässerschutz und Wassersparmassnahmen in Industrie und Stadt analysiert werden. Optimale Resultate sollten durch die Marktsituation erzielt werden, wenn nämlich die Abwasser-einleitungsgebühren erhoben und die Subventionen entzogen werden. Es ist anzunehmen, dass die lokale Wiederverwendung für die landwirtschaftliche Bewässerung kostenmässig die beste Lösung ist, besonders in Gebieten, wo keine Verschmutzung der wasserführenden Formationen erwartet wird. Tropf-Bewässerung von Bäumen für den Gartenbau wird unter diesen Umständen bevorzugt, da beinahe alle Städte von Feldern umgeben sind. Es ist unumgänglich, dass der Konstruktion und Implementierung von angemessenen Abwasserbewirtschaftungssystemen vor allem auch bei der palästinensischen Bevölkerung höchste Priorität eingeräumt wird, wobei dafür externe Gelder beschafft werden müssen. Die Bewässerung von Gemüse durch Abwasser sollte vermieden werden, wobei ein hoher Überwachungsgrad der Bauern erreicht werden muss.

Die Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser ist eine wertvolle Methode, um die Nachfrage nach Süßwasser zu erfüllen und wird deshalb im Rahmen des Gewässerschutzes in Angriff genommen. Einleitungsgebühren für industrielle Abwässer und eine Wasserbewirtschaftung aufgrund der Nachfrage, diese beiden Aspekte sollten in ein gemeinsames Programm integriert werden. Wenn die Gebühren richtig erhoben und implementiert werden, muss der öffentliche Sektor

in vielen Fällen die industrielle (evtl. auch die städtische) Wassernutzung und -einsparung nicht überwachen. Die Kosten für die Industrie sowie die Wasserrechnungen der Konsumenten werden durch Herabsetzen der Abwasserflüsse auf ein Minimum gesenkt. Damit wird der Entscheidungsprozess gefestigt (Fig. 5).

Der Wasserhandel – eine temporäre oder eine permanente Lösung?

Wasser wird in Israel gemäss einem System von zeitlichen Zuteilungen genutzt (wobei diese Zuteilungen jährlich einmal oder mehrmals erfolgen), während in den meisten Ländern die Benutzerrechte für die Nutzung massgebend sind. In vielen Regionen hat eine Person, die Land besitzt oder es kultiviert, das Recht, das Wasser zu nutzen, das unter und neben dem Boden fliesst. In anderen Gebieten regulieren verschiedene zeitgebundene Quotensysteme die Wassermengen aufgrund jährlicher, monatlicher, wöchentlicher, täglicher oder sogar stündlicher Nutzungszeiten. Alteingesessene haben meistens das Recht, die Ressource weiterhin zu benutzen. Die Effizienz der Wasserzuteilung und -nutzung, hingegen könnte durch die vermehrte Anwendung von bestimmten Preisfestsetzungsmechanismen merklich verbessert werden. Zum Beispiel könnten bestehende Ineffizienzen durch einen Nebenhandel mit Wasser oder durch ein System reduziert werden, bei dem die städtische oder industrielle Nachfrage über die Versorgung durch Bauern befriedigt würde. In Israel wird nämlich das Wasser für die Bewässerung immer noch teilweise

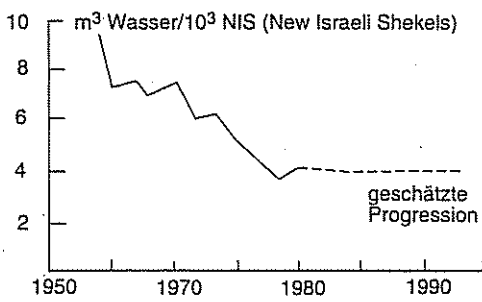


Fig. 4
Der mittlere industrielle Wasserverbrauch in m^3 per NIS für die Produktion (fixe Preise).

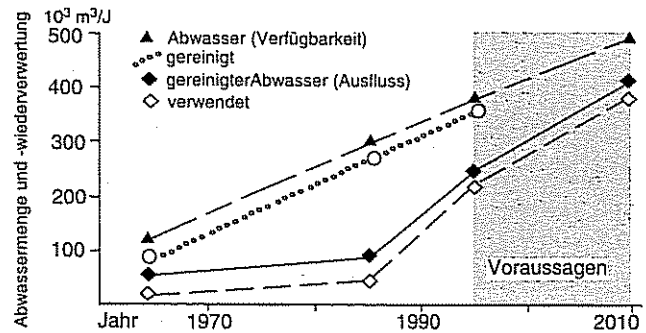


Fig. 5
Verfügbarkeit und Wiederverwertung von Abwasser.

durch den nationalen Wasserversorgungsbetrieb subventioniert. Dieses administrative Zuteilungssystem schafft einen Anreiz zum Erschliessen von neuen Wasserressourcen; eine solche erhöhte Nachfrage könnte zur Übernutzung der Grundwasserressourcen führen. Ein Wasserhandel könnte jedoch die Bewirtschaftung des Sektors und die Nutzungseffizienz wesentlich verbessern, wenn die Bauern diese Wassermenge, den Bedarf der städtischen Nutzer, «verkaufen» könnten.

Der Wasserhandel könnte kurz- und mittelfristige Lösungen für Israels Versorgungsproblem mit Wasser begünstigen. Er könnte auch die Wasserhältnisse mit den palästinensischen Behörden und mit Jordanien verbessern. Dieser Vorschlag beruht auf klassischen ökonomischen Prinzipien, die Israel, der PPA und Jordanien helfen würden, der wachsenden Wassernachfrage im städtischen Sektor nachzukommen und gleichzeitig die Bauern zu ermuntern, die Effizienz ihrer Wassernutzung zu steigern. Die beteiligten Partner sollten jedoch auf freiwilliger Basis unter der Aufsicht einer Dienststelle wie die Wasserkommission mit Wasser handeln.

Schlussfolgerungen

Der städtische und industrielle Wasserbedarf von heute etwa $0.6 \cdot 10^9 m^3/J$ Wasser lässt sich um 15–20% reduzieren, was einer Einsparung von $0.080-0.120 \cdot 10^9 m^3/J$ entspricht, falls das richtige Programm implementiert wird. Dadurch liesse sich der zukünftige Bau einer Meerwasserentsalzungsanlage durchaus verzögern (Die geschätzten Investitionskosten dafür liegen bei ungefähr 400 Mio.

US\$). Ausserdem dürften die vorgesehenen Massnahmen dazu beitragen, die heutigen Betriebskosten von ca. $0.15-0.20$ US\$/ m^3 (Energie, Chemikalien, usw.) sowie die jährlichen Kosten eines Meerwasserentsalzungsprogrammes einzusparen.

Da vor allem im städtisch/industriellen Sektor ein erhöhter Bedarf zu erwarten ist, sollte eine Hauptkomponente der regionalen Wasserversorgung in einer umfassenden Bewirtschaftungspolitik bestehen. Im Jahr 2020, wenn die Bevölkerung westlich des Jordanstromes auf über 12 Millionen gewachsen sein wird, werden die potentiellen Einsparungen ca. $0.2 \cdot 10^9 m^3/J$ betragen. Multipliziert mit den heutigen Kosten für die Meerwasserentsalzung, könnten die potentiellen Einsparungen sogar 200 Mio. US\$ betragen. Diese riesige Summe könnte für weitere, hier nicht näher umschriebene Gewässerschutz- und Abwasserwiederverwertungs-Projekte des ganzen Gebietes verwendet werden.

Selbst die zunehmende Effizienz der Wassernutzung könnte in der landwirtschaftlichen Produktion zu wesentlichen Zunahmen pro Wassereinheit und/oder zu absoluten Einsparungen führen. Basierend auf Israels Erfahrungen wird geschätzt, dass die Kosten pro m^3 eingespartem Wasser (oder der entsprechende Wert der Produktion) $0.10-0.15$ US\$ betragen dürften. Dies ist viel tiefer als die vorausgesagten Grenzkosten von zusätzlichen Wasserressourcen in Israel. Um dem ökonomischen Bedarf des Landes an Wasser (Süss- und gereinigtes Abwasser) weiterhin nachzukommen, muss die Politik auf grössere Investitionen, offensivere Öffentlichkeitsarbeit, Anreize der Regierung, Bestrafungen,

Implementierung eines «Wasserhandels» und angemessene Wasserraten basieren, was einer ausgearbeiteten sozialen und politischen Kampagne bedarf. Die Kosten pro m^3 , um das Wasser zu reinigen und transportieren sowie die Investitionen, die für den vereinfachten Austausch von Süsswasserressourcen für sekundär oder tertiär gereinigtes Abwasser notwendig sind, könnten die Kosten für die Meerwasserentsalzung einholen. Auf jeden Fall könnte Israel gezwungen werden, noch vor 2020 Meerwasser zu entsalzen, es sei denn, grossflächige regionale Austausche werden ermöglicht. Die Entsalzung von Brackwasser wurde schon in das System integriert. Im zentralen Negev könnte die Entsalzung einer Brackwasserressource zu einer wichtigen Wasserquelle werden, evtl. schon in den Jahren 2000–2010. All diese Programme können jedoch nicht implementiert werden, wenn nicht Investitionen im grossem Rahmen gemacht werden, einschliesslich der Verwendung internationaler Gelder und Mitbeteiligung des privaten Sektors.

- [1] World Bank, *Sustainable Environmental Solution in the Middle East. Various documents, 1994, 1995, Washington DC: The World Bank.*
- [2] Arlosoroff, S., 1995, *Promoting Regional Cooperation in the Middle East*, Harry S. Truman Research Institute, IGCC – University of California and others.
- [3] Arlosoroff, S., 1978, *Israel: A Model for Water Resources Management*, United Nations.
- [4] Jaut, R., Horowitz, K., and Netanyahu, S., *Problems and prospects in the political economy of trans-boundary water issues*, University of Maryland, September 1994.
- [5] Kahana, Y., 1991 *Water Conservation Measures in Israel*. UNEP-Mediterranean Action Plan plus various other documents. Tel Aviv ICWE/Water Commission.
- [6] *Water, Peace and the Middle East* (J.A. Allan, Tauris Academic Studies, London, 1996).
- [7] *Between War and Peace* (E. Karsh, F. Cass, London) 1996

Tove A. Larsen und Willi Gujer

Nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft – technologische Implikationen



Tove A. Larsen und Willi Gujer

Die nachhaltige Entwicklung stellt neue Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft: Nicht nur Komfort und Gewässerschutz, sondern auch Ressourceneffizienz erlangt Bedeutung. Recycling von Nährstoffen, schlanke Baukonzepte, neue Partnerschaften und ein erweitertes Technologieverständnis sind Begriffe, die massgebend die Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft im 21. Jahrhundert mitbestimmen werden.

Die Siedlungswasserwirtschaft durchdringt unsere urbane Gesellschaft – im täglichen Leben wird Vieles selbstverständlich: Fließendes Wasser, WC und trockene Keller sind heute nicht mehr wegzudenken. Hinter diesem alltäglichen Komfort liegt eine mehr als 100jährige technologische Entwicklung, die in den Städten eine weitgehend unsichtbare, aber teure Infrastruktur in Form von Wasserversorgung, Kanalisationen, Drainagen, Hausanschlüssen und verschiedenen Anlagen geschaffen hat.

Eine nachhaltige Entwicklung heisst, diese Dienstleistungen in einer Form zu erbringen, die auch in Zukunft ökologisch, sozial und finanziell tragbar ist. Dabei dürfen wir die Ressourcen nicht übernutzen, die urbane Gesellschaft nicht überstrapazieren und den finanziellen Rahmen nicht sprengen.

In der folgenden Analyse gehen wir vom System aus, das in Fig. 1 dargestellt ist. Wir betrachten hier die Haus-

halte; alle anderen anthropogenen Aktivitäten passen aber genauso in diesen Rahmen. Für eine Beurteilung der Siedlungswasserwirtschaft sind Wasser und Stoffe untrennbar verbunden: Die Möglichkeiten und der Aufwand, um das Wasser nach Gebrauch wieder in den Kreislauf einzugliedern, werden durch die ins Wasser eingemischten Stoffe und pathogenen Keime bestimmt. Wir unterscheiden dabei zwischen den natürlichen Stoffen aus der Landwirtschaft und den vielen naturfremden Stoffen, die in den urbanen Wasserkreislauf gelangen.

Die Ressourcen der Siedlungswasserwirtschaft

Ressourcen geben uns die Möglichkeit zu handeln: Erze, Energie, Demokratie, Geld usw. erlauben uns, unser tägliches Leben zu gestalten. Auch die Natur ist Ressource: Zerstören wir die Umwelt, zerstören wir durch komplexe und manchmal zeitlich sehr verzögerte Zusammenhänge unsere eigenen Lebensgrundlagen. Eine Analyse des Ressourcenverbrauches in der Siedlungswasserwirtschaft führt uns zu den vier Typen von Ressourcen, die in Fig. 2 dargestellt sind [1].

Eine nachhaltige Entwicklung bedingt, dass die vier verschiedenen Ressourcenbereiche gleichzeitig berücksichtigt werden. Was bedeutet das aber konkret? Wird die Siedlungswasserwirtschaft wegen der neuen Randbedingungen noch teurer? Müssen wir im Gewässerschutz Einbussen in Kauf nehmen, um sekundäre Ressourcen zu sparen?

Elektrische Energie	1–2% (ohne Warmwasser)
Beton	5–10%
Kies	10–20%

Tab. 1
Schätzungen für den Anteil der Siedlungswasserwirtschaft am Ressourcenverbrauch der Schweiz.

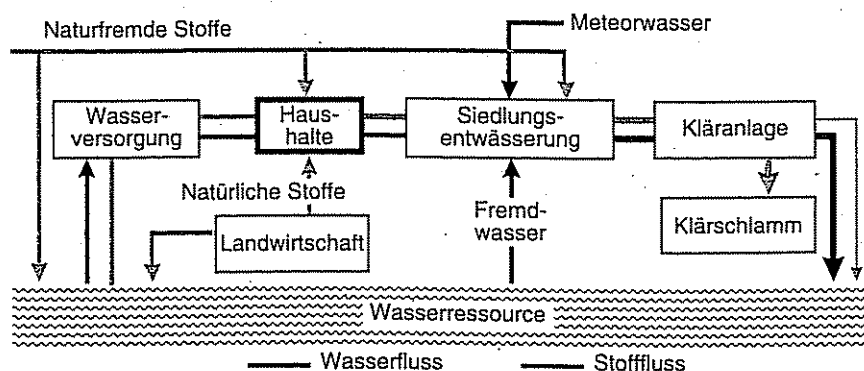


Fig. 1
Wasser- und Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft. Die zwei Flüsse sind eng miteinander verbunden und können nicht isoliert betrachtet werden.

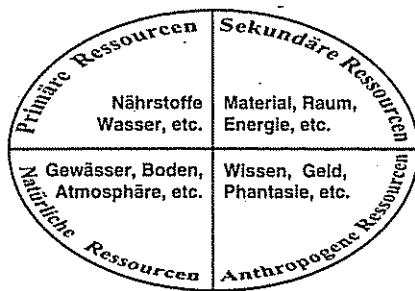


Fig. 2
Ressourcen in der Siedlungswasserwirtschaft. Die primären Ressourcen werden in der Siedlungswasserwirtschaft bewirtschaftet, sekundäre Ressourcen setzen wir für diese Bewirtschaftung ein. Auf die Optimierung der natürlichen und der anthropogenen Ressource «Geld» ist heute die Siedlungswasserwirtschaft ausgerichtet.

Von der Industrie lernen wir, dass dies nicht so sein muss: Telephone können z.B. heute *billiger* produziert werden, weil bereits ihr Design auf das Recycling ausgerichtet ist. Ähnliches erhoffen wir uns aus einer neuen Betrachtung der Siedlungswasserwirtschaft.

In den folgenden Abschnitten werden wir wichtige Anliegen diskutieren, die sich je auf eine der vier Ressourcen konzentrieren.

Primäre Ressourcen: Nährstoffe

Sollen Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) auf den Kläranlagen eliminiert werden, oder sollen sie als Teil des natürlichen Kreislaufes wieder zurück in die Landwirtschaft gebracht werden? Diese Frage stellt sich immer häufiger.

Als begrenzte Ressource ist v.a. der Phosphor von Bedeutung: Es ist umstritten, wie lange die Reserven reichen (100–1000 Jahre, je nach Quelle und Aufwand für die Beschaffung). Nicht umstritten sind die Gefahren der mit dem Phosphatdünger verbundenen Schwermetallbelastung. Der hohe Preis des Phosphates führt dazu, dass Phosphat nicht in denjenigen Gegenden der Welt eingesetzt wird, in denen es wirklich benötigt wird – ein brisanter globaler Misstand [2].

Einsichtig ist der heutige Trend in Richtung ökologische Landwirtschaft. Diese setzt voraus, dass kein Kunstdünger verwendet wird. Langfristig ist ohne Zurückführung der Nährstoffe aus den Siedlungen ein solches Wirt-

schaften schwierig: Wie sollen die Nährstoffe ersetzt werden, die durch die Siedlungswasserwirtschaft verloren gehen?

Was geschieht mit den Nährstoffen in den Siedlungen? Die quantitativ wichtigsten Nährstoffe aus den Haushalten fallen zum grössten Teil in Form von Urin an: 65% des Phosphors, 85% des Stickstoffs und Kaliums, 95% des Schwefels. Diese Nährstoffe können also nur in konzentrierter Form zur Verfügung stehen, wenn der Urin nicht mit dem übrigen Abwasser vermischt wird. Eine konsequente Trennung würde zudem die teure Nährstoffelimination auf den Kläranlagen erübrigen [3].

Gegenwärtig wird in einer Dissertation eine technische Umsetzung der getrennten Ableitung von Urin untersucht. Bei dem dabei untersuchten Konzept wird in den Häusern gespeicherter Urin während der Nacht auf die Kläranlage abgeleitet (Fig. 3). Erste Simulationen und Versuche bestätigen, dass die Zeit mit sehr geringem Abfluss im Kanalnetz – mindestens in kleineren Einzugsgebieten – für diesen Zweck ausreicht. Noch ungelöste Probleme beziehen sich auf die Stabilität der Urinlösung: Unerwünschte pH-Verschiebungen führen ohne Gegenmassnahmen zu Problemen mit Ammoniak (z.B. Korrosion) und Ausfällungen.

Sekundäre Ressourcen: Energie und Baustoffe

Wieviele sekundäre Ressourcen die Siedlungswasserwirtschaft heute umsetzt, ist nicht bekannt – es war nie von Interesse. In Tab. 1 sind für einige Bereiche erste Schätzungen für die Schweiz angegeben.

Ist dieser Aufwand, gemessen an seiner Leistung, gerechtfertigt? Globalgesetzte Ziele sehen vor, dass der Ressourcenverbrauch in unserem Teil der Welt um ein Faktor 3–10 gesenkt werden soll. Der Trend geht also in Richtung massiver Einsparungen. Damit solche Zielsetzungen überhaupt möglich sind, muss die ganze Wirtschaft zunehmend dematerialisiert

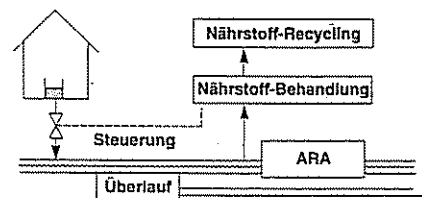


Fig. 3
Ein System zur separaten Ableitung von Urin. Während der Nacht, wenn wenig Abwasser in den Kanälen fliesst, kann wenig verdünnter Urin bis zur Kläranlage geleitet werden und in einem separaten Verfahren für die Weiterverwendung aufbereitet werden.

werden. Das heisst, sie muss in Zukunft mit sehr viel weniger Material und Energie auskommen.

Die Energiesparmassnahmen auf Kläranlagen werden zügig vorangetrieben: Im Rahmen des RAVEL-Programmes wurde gezeigt, dass das wirtschaftliche (!) Potential des Energiesparens auf den meisten Kläranlagen in der Grössenordnung von 60% liegt [4]. Die Beurteilung der in der Siedlungswasserwirtschaft eingesetzten Baumaterialien ist schwieriger, weil nicht nur die Verbrauchsmenge von Interesse ist, sondern auch die Belastung der Umwelt bei deren Beschaffung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung. Unterschiedlichste Materialien wie Zement, Stahl, Kupfer usw. müssen miteinander verglichen werden, um wirkungsvolle Verbesserungen zu finden. An vielen Institutionen, so auch an der EAWAG, hat diese akribische Arbeit nach der Methode des *Life Cycle Assessment* (Ökobilanzierung) begonnen.

Natürliche Ressourcen: Massnahmen an der Quelle

In der Schweiz wurde in den letzten 20 Jahren viel in den Gewässerschutz investiert. Dabei waren die Probleme am Anfang akut und lokal (Verschlammung der Gewässer, Sauerstoffmangel, usw.), während heute die eher schleichenden Probleme in der Form von diffus anfallenden Verunreinigungen mit naturfremden und natureigenen (z.B. Nitrat) Stoffen anstehen. Im Gegensatz zu den früheren «grossen» Themen des Gewässerschutzes beschäftigt uns heute eine Unzahl von Stoffen und Quellen. Z.B. ist Kupfer

vor kurzem als problematischer Baustoff erkannt worden [5]. Studien an der EAWAG [6] identifizieren neben Kupfer auch u.a. Zink als ähnlich problematisch. Bei der Sanierung ist es wesentlich, nicht bei Einzelstoffen zu beginnen, sondern das Problem ganzheitlich anzugehen. Kupfer kann man in vielen Fällen durch Zink ersetzen, das aber, sobald dann auch dessen Gefährlichkeit erkannt ist, wiederum durch den nächsten Stoff ersetzt werden muss.

Eine Analyse der möglichen diffusen Quellen im Haushaltsbereich zeigt, dass einerseits der Oberflächenschutz von Bedeutung ist: von Wasserleitungen, Dächern, Fassaden, usw. Andererseits müssen wir uns mit den unzähligen Chemikalien im Haushaltsbereich befassen: Es besteht da eine breite Nachfrage (z.B. wollen wir unsere modernen Textilien schonend, aber effizient waschen können). Das Angebot können aber nur Fachkreise beurteilen: Wer hat nicht Mühe, ein Waschmittel nach ökologischen Kriterien auszuwählen? Vor allem am Beispiel der Haushalte wird deutlich, dass die traditionellen Strategien des Umweltschutzes nicht mehr adäquat sind. Neue Partnerschaften müssen geschaffen werden, die eher bestrebt sind, dauerhafte Lösungen zu erarbeiten, als jeden neuen Stoff auf seine Gefährlichkeit hin zu prüfen.

Anthropogene Ressourcen: Langfristige Planung vermindert Kosten

Die steigenden Wasser- und Abwassergebühren und die Werterhaltung der teuren, aber unsichtbaren Infrastrukturen im Untergrund gewinnen heute an Bedeutung.

Beispiele aus der Energiewirtschaft und der Abfallentsorgung illustrieren Möglichkeiten, aber auch Risiken für die Siedlungswasserwirtschaft. In der Energiewirtschaft wird *Least Cost Planning* angewendet: Statt Elektrizität zu verkaufen, wird an verschiedenen Orten die Endleistung (z.B. Licht) zur Verfügung gestellt. Es entsteht dadurch

	Nährstoff- Recycling	Life Cycle Assessment	Massnahmen an der Quelle	Least Cost Planning (LCP)
Primäre Ressourcen		Wassersparen und Recycling von Nährstoffen nicht um jeden Preis	Spart häufig primäre Ressourcen (Wasser, Metalle usw.)	Reduzierter Wasser- verbrauch kann ein Resultat von LCP sein
Sekundäre Ressourcen	Resultiert in klei- neren ARAs; es braucht aber neue Verfahren für das Nährstoffrecycling		Reduziert häufig die erforderlichen Investitionen	Eine schlanke Bau- weise vermindert den Investitions- bedarf
Natürliche Ressourcen	Entlastet die Gewässer bei Regenwetter	Gewässerschutz nicht aufs Spiel setzen!		Selbstreinigung in Gewässern gezielt einsetzen
Anthropogene Ressourcen	Chance der ökologischen Landwirtschaft?	Technologiesprung wäre für die Industrie möglich	Vermindert Über- raschungen und neue Altlasten	

Tab. 2

Matrix einer ressourcenorientierten ganzheitlichen Forschungsstrategie. Jede Spalte bezieht sich auf eines der genannten Themen, jede Reihe auf eine der vier diskutierten Typen von Ressourcen.

ein Anreiz, einen teuren Infrastrukturausbau durch die Abgabe von Sparlampen zu vermeiden; eine Strategie, die für alle Beteiligten im Endeffekt billiger wird. Sackgebühren führen in der Abfallentsorgung zur Verminderung der Abfallmengen. Die resultierende schlechte Auslastung der Anlagen führt aber zu höheren Gebühren.

Wie kann die Siedlungswasserwirtschaft von diesen Erfahrungen profitieren? Analog zur Energiewirtschaft können z.B. an Stelle von teuren Erschliessungen von neuen Wasserressourcen Sparmassnahmen gefördert werden. Heute gibt es wenig Anreize, ein Problem in dieser Art anzugehen. Ähnlich sieht es im Bereich der Kläranlagen aus. Es ist politisch einfacher, Baukosten zu rechtfertigen, als Analyse- und Optimierungsaufwand zu finanzieren, um aus einer existierenden Anlage das Beste herauszuholen.

Technologische Implikationen

Welches sind nun die technologischen Implikationen einer nachhaltigen Siedlungswasserwirtschaft? Wir haben oben in knapper Form einige neuen Fragestellungen dargestellt, die sich je auf unterschiedliche Ressourcen konzentrieren. Um die ganzheitliche Betrachtungsweise hervorzuheben, sind in Tab. 2 diese Fragestellungen und die vier Typen von Ressourcen in Matrixform dargestellt. Die grauen Felder in der Diagonale stellen die «Grundprojekte» dar, deren Hintergrund oben

beschrieben ist. Die übrigen Felder sind mit Beispielen typischer zusätzlicher Fragen ausgefüllt. Die Leserinnen und Leser sind eingeladen, selber in diesem Rahmen weiterzudenken.

Die typischen Aufgaben der Ingenieurinnen und Ingenieure, wie die Optimierung der existierenden Kläranlagen oder die Entwicklung ressourcenschonender Bauverfahren, vermischen sich mit neuen Aufgaben wie Least Cost Planning oder dem Erarbeiten von Strategien zur Vermeidung von diffusen Verunreinigungen. Hier tut ein erweiterter Technologiebegriff Not: In Zukunft müssen wir «Technologie» als umfassende Problemlösung verstehen und nicht nur als Entwicklung von Geräten und Verfahren. Um der Idee der dematerialisierten Wirtschaft gerecht zu werden, genügen harte Massnahmen allein nicht mehr.

- [1] Larsen, T.A. und Gujer, W. (1997) The Concept of Sustainable Urban Water Management. Akzeptiert für das *Wat. Sci. Tech. Sondernummer «Sustainable Sanitation and River Basin Management»*.
- [2] Zehnder, Alexander J.B. (1996) EAWAG news, 42D, S. 24ff.
- [3] Larsen, T.A. und Gujer, W. (1996) Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions (Human Urine). *Wat. Sci. Tech.*, 34, 87–94.
- [4] Müller, E.A. (1996) Mit Energiesparen die Betriebskosten der ARA um 10% senken. *GWA*, 10, pp. 800–806.
- [5] Neue Zürcher Zeitung, 29. Januar 1997: Forderung nach Verzicht auf Kupfer als Baustoff.
- [6] Boller, M. (1995) Die Rolle der Siedlungswasserwirtschaft bei der Schadstoffanreicherung in Böden. *EAWAG news*, 38D, 17–21.

Paul H. Brunner* und Christoph Lampert*

Nährstoffflüsse im Donaauraum

Quellen und letzte Senken



Paul H. Brunner

* Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/226.4
A-1040 Wien

Um die zunehmende Eutrophierung des Donaudeltas und des Schwarzen Meeres zu stoppen, müssen die Nährstoffeinträge deutlich reduziert werden. Erst durch die Kenntnis der Quellen können effiziente Steuerungsmassnahmen getroffen werden. In Zusammenarbeit mit acht osteuropäischen Ländern wurden die Nährstoffeinträge in die Gewässer im Donaeinzugsgebiet mit einer einheitlichen Methodik abgeschätzt und Reduktionsmassnahmen ausgearbeitet.

Die Donau, Lebensader für 70 Millionen Menschen

Die Donau ist nach der Wolga der grösste Strom Europas. Das Einzugsgebiet reicht von den Alpen bis zum Schwarzen Meer, umfasst siebzehn Staaten und beträgt rund ein Zehntel der Fläche Europas. Etwa 70% des Gesamtzuflusses des Schwarzen Meeres stammt aus der Donau. Der Fluss dient zur Gewinnung von Trink- und Bewässerungswasser, zur Erzeugung elektrischer Energie, dient der Fischerei, dem Tourismus und der Schifffahrt und ist Förderband für geogene und anthropogene Stoffe. Auch wenn die viel besungene Donau nur selten im blauen Gewand zu sehen ist, ist sie doch auch von hohem Erholungswert. Beispiele für die beeindruckende Schönheit dieses Flusses sind die Donauauen bei Wien oder das unter den Schutz der Vereinten Nationen gestellte, aussergewöhnlich artenreiche Donaodelta an der Einmündung ins Schwarze Meer.

Aus Gründen des Hochwasserschutzes, der Schifffahrt und des Brückenbaues wurde schon im letzten Jahrhundert das Bett der Donau massiv beeinflusst. Dadurch wurde das Abflussverhalten und das Geschieberegime stark verändert. Heute werden die natürlichen und anthropogen verursachten Stofffrachten, sofern sie nicht bei den Staustufen sedimentieren, nicht mehr in Überschwemmungsgebieten abgelagert, sondern direkt ins Donaodelta und das Schwarze Meer transportiert. Die Mehrzahl der Donauanrainer sind erst im Begriff, ihre Wirtschaft auf eine hohe Produkti-

vität und einen hohen Umweltschutzstandard umzustellen. Die Belastung der Donau und ihrer Zuflüsse mit Nährstoffen und Schadstoffen ist heute schon gross. Damit die Schutzziele des Gewässerschutzes (die nicht in allen Anrainerstaaten gleich definiert sind) erreicht werden, müssen die anthropogenen Belastungen in den nächsten Jahrzehnten systematisch gesenkt werden. Dies betrifft insbesondere Stickstoff und Phosphor, die über die Landwirtschaft, kommunale Abwasserwirtschaft sowie Direkteinleitungen aus Industrie, Gewerbe und Privathaushalten im Übermass in die Gewässer gelangen.

Die Wasserqualität in den Donaustaaten schützen, aber wie?

Um Grundlagen für eine effiziente Strategie zum Schutz der Gewässer im Donaauraum zu gewinnen, beauftragte 1995 die Europäische Union im Rahmen des PHARE-Programmes (Poland and Hungary: Assistance to the Reconstruction of the Economy) ein Konsortium, bestehend aus der TU Wien und der TU Budapest, mit einer Studie über die Möglichkeiten der Beeinflussung der Nährstoffwirtschaft zur Verbesserung der Wassergüte im Donaauraum [1]. Im Folgenden werden hauptsächlich die Nährstoffbilanzen vorgestellt. Die von H. Kroiss (TU Wien) und L. Somlyódy (TU Budapest) geleiteten Untersuchungen zur Wassergüte und Abwasserwirtschaft sind im Schlussbericht des Projektes enthalten.

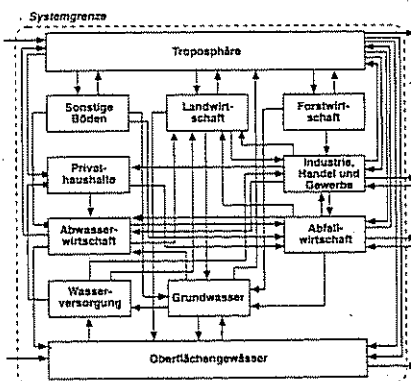


Fig. 1
Definition des untersuchten Systems «Donaeinzugsgebiet» mit den wichtigsten, im Projekt berücksichtigten Prozessen und Stoffflüssen. Prozesse umfassen Transporte, Transformationen und Lager. Für jeden Prozess wurden jährliche Inputs, Outputs und Lageränderungen bestimmt. Die Bilanzen erstrecken sich über die zwei Perioden 1988/89 und 1992.

Von Forschungsinstituten der Anliegerstaaten Deutschland, Tschechische Republik, Slowakei, Ungarn, Österreich, Slovenien, Moldavien, Bulgarien, Rumänien und Ukraine wurden folgende Zielsetzungen und Aufgabenstellungen verfolgt:

1. Stoffbilanzen: Erstellung von Bilanzen für Nährstoffe, teilweise auch für organischen Kohlenstoff (TOC) für alle beteiligten Länder und für einige ausgewählte Regionen.
2. Problemidentifikation: Beurteilung der Hauptprobleme, die durch die Nährstoffflüsse heute und zukünftig in den Gewässern des Donaumaums verursacht werden.
3. Lösungsansätze: Untersuchung von Strategien, mit denen die zu erwartenden Probleme kostengünstig gelöst werden können. Insbesondere sollen Massnahmen im Bereich der Bewirtschaftung von Abwässern geprüft werden.

Da sich die wirtschaftliche Situation in den Ländern des ehemaligen Ostblocks nach der Wende (1989/1990) signifikant veränderte und der Stoffumsatz in Landwirtschaft und Industrie/Gewerbe teilweise stark abnahm, erstreckten sich die Untersuchungen auf die beiden Jahre 1988/1989 und 1992. Zusätzlich wurden Szenarien für Nährstoffbilanzen in den Bereichen Landwirtschaft und Industrie sowie der Abwasserwirtschaft im Jahre 2005 erstellt. Die Resultate des Projektes zeigten, dass tatsächlich Unterschiede nach der Wende festzustellen sind.

Problem Nährstoffbilanz: Neue Methode und fehlende Daten

Im ersten Schritt wurden die Partner anlässlich eines Workshops mit einer gemeinsamen Methodik der Stoffbilanzierung [2] und den Grundlagen der Wassergüte- und Abwasserwirtschaft, wie sie in diesem Projekt gebraucht werden, vertraut gemacht. Anschliessend wendeten sie diese Methode auf ihr Land und auf ihre regionale Fallstudie an, und tauschten die gemachten Erfahrungen an einem zweiten Treffen aus. Die detaillierteren

N 1992 in %	Landwirtschaft	Haushalt	Industrie	andere	Summe	in kt N
Erosion	18	0	0	2	21	150
Direkteinleitungen	13	5	5	0	22	164
Grundwasser	17	4	0	14	35	255
Kläranlage	6	10	5	0	21	155
Summe	54	20	10	16	100	730

P 1992 in %	Landwirtschaft	Haushalt	Industrie	andere	Summe	in kt P
Erosion	28	0	0	1	30	31
Direkteinleitungen	18	7	4	0	29	30
Grundwasser	5	2	0	4	11	10
Kläranlage	9	14	7	0	29	29
Summe	61	23	10	5	100	102

Tab. 1

Wichtigste Quellen und Förderbänder für Nährstoffe im Donauinzugsgebiet für das Jahr 1992 in % der totalen Flüsse von 730 kt/a N und 100 kt/a P. Gegenüber 1988/89 hat der Nährstoffeintrag um 15% abgenommen.

Ergebnisse der Fallstudie dienen zur Verbesserung der nationalen Bilanzen. Im nächsten Schritt wurde der Ist-Zustand der Abwasser- und Wassergüte-wirtschaft der Ländern aufgenommen, und in Beziehung zu den Nährstoff-flüssen gebracht. Die verschiedenen nationalen und europäischen Ziele für den Gewässerschutz wurden einander gegenübergestellt und geprüft, inwiefern der Ist-Zustand diesen Zielen entspricht. Als dritter Schritt wurden an einem letzten Workshop gemeinsam verschiedene Szenarien, die zur effizienten Erreichung der Ziele führen können, entwickelt.

Es zeigte sich, dass die Ziele dieses Projektes hoch gesteckt waren. Schon im ersten Schritt ergaben sich Schwierigkeiten bei der *Erstellung der Nährstoffbilanzen*. Um die Vergleichbarkeit der Resultate der verschiedenen Partner zu gewährleisten, ist es notwendig, dass alle die gleiche Methode der Bilanzierung verwenden. Das bedeutet, dass für jedes Land dasselbe System, bestehend aus identischen zeitlichen und räumlichen Systemgrenzen sowie den gleichen Prozessen und Güterflüssen definiert und untersucht werden muss (Fig. 1).

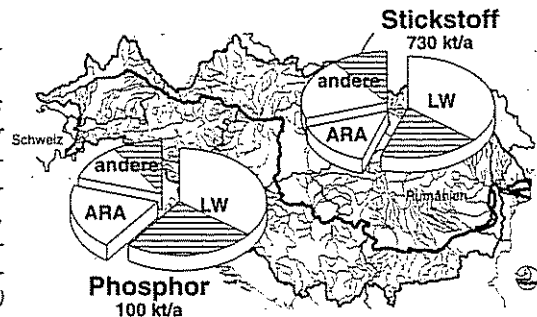
Da dieser systemare Ansatz erstens für die Partner neu und zweitens sehr rigid war (die Werte für die Stoffflüsse werden anhand der Bilanzen « Σ Inputs = Σ Outputs + Lageränderung» überprüfbar), bedurfte es eines relativ grossen Aufwandes für diesen Schritt. Hinzu kam, dass im Verlaufe der Bilan-

zierungen noch ungelöste methodische Probleme angetroffen wurden. Dies betraf beispielsweise das Schicksal von Nährstoffen, die aus land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen erodiert oder ausgewaschen werden, und deren Zwischen-, bzw. Endlagerungen in örtlicher und zeitlicher Hinsicht noch nicht mit anerkannten Methoden abgeschätzt werden können.

Eine weitere Schwierigkeit ergab sich bei der *Beschaffung von Daten* für die Nährstoffbilanzen und die Wasser-/Abwasserwirtschaft. Während in der Planwirtschaft viele Daten über alle Wirtschaftssektoren gesammelt wurden (Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Gewerbe, kommunale Wirtschaft einschliesslich Wasser- und Abwasserwirtschaft), stehen seit dem Übergang zur Marktwirtschaft weniger Zahlen zur Verfügung. Dies einerseits deshalb, weil die zentralen Strukturen von neuen, weniger sammelnden Institutionen abgelöst wurden. Andererseits aber auch deshalb, weil die Erkenntnis, dass Informationen wertvoll sind, dazu geführt hat, dass Daten heute in vielen Ländern nur noch gegen teures Geld zur Verfügung gestellt werden. Es erwies sich deshalb in einigen Ländern als schwierig, zuverlässige Zahlen über Nährstoffflüsse und Emissionen der wichtigsten Industrieunternehmungen zu erhalten. Bei der kritischen Hinterfragung der Daten zeigte es sich beispielsweise auch, dass der Nährstoffwechsel einer ukrainischen Kuh

Fig. 2
Quellen von Nährstoffen im Donau-einzugsgebiet 1992.

(ARA = Abwasserreinigungsanlage; Andere = Diffuse Einträge aus der Forstwirtschaft (weiss), und Direkt-einleitungen aus privaten Hausbal-tungen und Industrie (schraffiert), LW = Landwirtschaft: Die schraffierten Flächen stehen für direkt und in-direkt (d.h. über Reinigungsanlagen) eingeleitete, tierische Abgänge, die weissen Flächen für die Erosion und die Auswaschung von Nährstoffen.)



(400 kg) nicht mit demjenigen einer österreichischen (600–650 kg) verglichen werden darf.

Der Schlüssel liegt in der Landwirtschaft

Trotz der Unterschiede der Projektgruppen bezüglich ihrer Erfahrung in der Nährstoff- und Wassergüte-/Abwasserwirtschaft können dank der einheitlichen Methodik die Resultate der Länder zu einem Gesamtbild zusammengefügt werden und als Grundlage für zukünftige Gewässerschutzmassnahmen dienen. Zur Zeit befindet sich das Projekt in der Schlussphase. Die Resultate werden im Frühsommer 1997 von der PHARE veröffentlicht [1]. In Tab. 1 werden erste Resultate bezüglich der Nährstoffbilanzen zusammengefasst.

Die *Hauptquelle* für den Nährstoffeintrag ist die Landwirtschaft. Bemerkenswert ist, dass der Weg über die *Erosion* nicht nur für P, sondern auch für N der Hauptpfad in die Gewässer ist. Unerwartet hoch sind die Einträge über Direkt-einleitungen von Gülle aus der Landwirtschaft (rund 15% der N- und rund 20% der P-Gesamtfracht). Die zweitgrösste Quelle sind die Haushalte (rund 20% der N und 25% der P-Gesamtfracht). Der Anteil der Industrie liegt bei rund je 10% für N und P.

Werden die *Pfade* der Nährstoffeinträge betrachtet, so stammt die Hauptfracht (30%) an Stickstoff aus der Exfiltration von Grundwasser in die Oberflächengewässer. Erosion, Direkt-einleitungen und die Abläufe kommunaler Kläranlagen tragen je 20–25% zur Gesamtfracht bei.

Gegen die Hälfte der Nährstoffeinträge stammt aus Rumänien. Deutschland, Österreich und Ungarn liefern zusammen rund ein Drittel der Nährstofffracht der Oberflächengewässer des Donaeinzugsgebietes.

Die Resultate zeigen, dass Nährstoff-einträge in die Donau zwischen den Jahren 1988/89 und 1992 sowohl für Stickstoff als auch für Phosphor um rund 15% abgenommen haben. Die Retention (Sedimentation, Denitrifi-

kation) der Fliessgewässer im Donau-einzugsgebiet betrug in beiden Jahren für N etwa 15% der Gesamtfracht, für Phosphor im Jahre 1988/89 35% und 1992 50% der Gesamtfracht (Fig. 2).

Die Stoffflussanalyse – ein geeignetes Instrument zur Zusammenarbeit

Ein wichtiges Resultat dieses Projektes ist die Vermittlung des Werkzeugs der Stoffflussanalyse an die Partner. Dieses Instrument ermöglicht die Früherkennung und das Setzen von Prioritäten nicht nur auf dem Gebiet der Nährstoffe und der Wassergüte, sondern ganz allgemein im Bereich der Ressourcennutzung und des Umweltschutzes. Gerade in Ländern, in denen zahlreiche, grosse Probleme mit beschränkten Mitteln zu lösen sind, ist die Stoffflussanalyse hervorragend geeignet, um Prioritäten richtig zu setzen. Um die Partner dabei zu unterstützen, wird es nötig sein, mit ihnen über dieses Projekt hinaus in Verbindung zu bleiben.

Ein weiteres Resultat dieses Projektes besteht darin, dass acht Länder gemeinsam ihre Nährstoffbilanzen und Gewässerschutzstrategien diskutierten, und derart Einsicht und Verständnis für ihre gegenseitigen, länderspezifisch angepassten Bemühungen zur Reinhaltung der Gewässer erhielten. Es ist offensichtlich, dass die Donau ein wichtiger Entsorgungspfad für die Abstoffe der stromaufwärts liegenden Menschen und ihrer Wirtschaftsweise ist. Für die Zukunft stellt sich die Frage, wie langfristig bei wachsender Bevölkerung, und zunehmendem Lebensstandard sowie steigendem pro Kopf Stoffumsatz in den osteuropäischen Ländern, die Belastung der Donau gesenkt werden und damit die

Tragfähigkeit des Donaudeltas und des Schwarzen Meeres gewährleistet werden kann. Entscheidend wird sein, welche Art der Landwirtschaft betrieben wird, und welche Standards für Emissionen aus Industrie, Haushalten und kommunalen Abwässern gefordert und eingehalten werden können.

Ein persönliches Nachwort

Wie aus den angeführten Bemerkungen hervorgeht, ist dieses Projekt nicht nur aufgrund seines wissenschaftlichen Gehaltes (der massgeblich an der EAWAG geboren wurde) interessant, sondern vielmehr wegen seiner Fragestellung und der Zusammenarbeit mit acht osteuropäischen Ländern. Für mich war es ein neues Erlebnis, sich persönlich darum kümmern zu müssen, dass die Forschungsgelder auch wirklich dort eintreffen, wo sie hingehören, respektive den sicheren Weg zu gehen und einigen Partnern das Geld persönlich in die Hand zu drücken. Dass die Reise zu einem europäischen Partner auf dem kürzesten Weg 18 Stunden dauert, ist ungewöhnlich, aber auch unvergesslich. Und drei Tage Workshop auf einem Forschungsschiff des rumänischen Partners inmitten des Donaudeltas, der letzten Senke vieler Nährstoffe aus dem Oberlauf, lässt auch physisch erleben, dass das Entsorgungshinterland von uns Wienern bis ins Schwarze Meer reicht.

[1] PHARE (1997): Nutrient Balances for Danube Countries; EU/AR/102A/91. Der Schlussbericht zu diesem Projekt kann ab September 1997 bei der Danube Programme Coordination Unit (PCU) in Wien angefordert werden.

[2] Baccini P. und Brunner P.H. (1991) Metabolism of the Anthroposphere, Springer Verlag, New York und Heidelberg.

Ozonung von Trinkwasser

Oxidation von Spurenstoffen



Urs von Gunten

¹ EAWAG² Wasserversorgung Zürich

Die Nutzung von Seewasser zu Trinkwasserzwecken ist mit einer mehrstufigen Aufbereitung verbunden. Gemäss dem neuen Lebensmittelgesetz müssen die Wasserwerke im Sinne einer «Guten Herstellungspraxis» ihre Aufbereitungsstufen bewerten, um auch im Falle einer Verschmutzung den Wirkungsgrad ihrer Anlagen abschätzen zu können. Anhand der Ozonung soll exemplarisch gezeigt werden, wie die Oxidationswirkung in einem Ozonungsreaktor durch Einsatz von konservativen und reaktiven Tracern abgeschätzt werden kann.

Einleitung

Dank einem umfassenden Gewässerschutz in der Schweiz ist die Rohwassersqualität meist so gut, dass ein grosser Teil des Trinkwassers ohne (38%) oder mit einer nur einstufigen Aufbereitung (33%) verteilt werden kann. Als Wasserressourcen dienen hier Grund- und Quellwasser [1]. Daneben gibt es in der Schweiz auch aufwendige Aufbereitungen über mehrere Stufen. Sie finden vor allem in den Seewasserwerken der grossen Ballungszentren statt, wo Trinkwasser aus Seewasser gewonnen wird (ca. 20%) [1]. Die Seen können als *offene* Reservoirs betrachtet werden. Das Risiko der Beeinträchtigung der Wasserqualität durch Abwasser oder Chemieunfälle ist daher gross.

Ein Phenolunfall am Zürichsee im Jahre 1967 hat gezeigt, wie empfindlich eine Seewasserversorgung reagieren kann. Durch Chlorung der ins Wasser gelangten Phenole in einem Seewasserwerk der Stadt Zürich wurden Chlorphenole gebildet, was zu einer starken geschmacklichen Beeinträchtigung des Trinkwassers führte. Für etwa 80'000 Einwohner war das Trinkwasser ungeniessbar [2]. Als Folge

dieses Unfalls wurden die Seewasserwerke von Zürich und in anderen Städten und Gemeinden mit einer auf Ozon basierenden Aufbereitungsstufe erweitert.

Wasseraufbereitung mit Ozon

Die Anforderungen an ein gutes Trinkwasser (keine Trübung, keine Farbe, gut im Geschmack und Geruch, hygienisch einwandfrei, Wasserinhaltsstoffe gemäss den Vorgaben der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung resp. des Lebensmittelbuchs, Kap. 27A «Trinkwasser») können auch für ein stark belastetes Wasser (Oberflächenwasser, Karstquellen) durch eine mehrstufige Aufbereitung gemäss Fig. 1 erreicht werden. Das Rohwasser (RW) wird zunächst einer Vorozonung unterworfen, bei der eine Desinfektion sowie eine Voroxidation von Wasserinhaltsstoffen erfolgt. In der 2. Aufbereitungsstufe wird eine physikalische Abtrennung von Partikeln mittels Flockung/Sedimentation und Filtration durchgeführt. Danach wird in der Zwischenozonung unter definierten Bedingungen nochmals desinfiziert und oxidiert. Die anschliessende

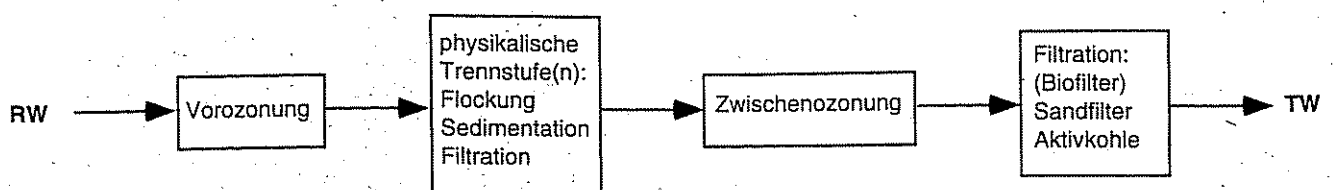


Fig. 1
Verfahrenskette zur Aufbereitung von Oberflächenwasser (z. T. auch Kartswasser). RW: Rohwasser, TW: Trinkwasser.

Aktivkohlefiltration dient einerseits dem Abbau von überschüssigem Ozon sowie der Adsorption von hydrophoben Wasserinhaltsstoffen und andererseits dem mikrobiellen Abbau von organischen Reaktionsprodukten (Säuren, Aldehyde, Ketone), die bei der Oxidation des natürlichen organischen Materials (NOM) durch Ozon entstehen. Dadurch werden die Nährstoffe, die zu einer Verkeimung im Verteilnetz führen könnten, bereits im Wasserwerk teilweise eliminiert. Dieser Effekt kann durch eine anschließende biologische Langsandsandfiltration noch verbessert werden. Vor Abgabe des Trinkwassers ins Leitungsnetz, erfolgt meist die Zugabe eines Netzschutzes (Chlor und/oder Chlordioxid) um die hygienische Qualität bis zur Konsumation zu gewährleisten.

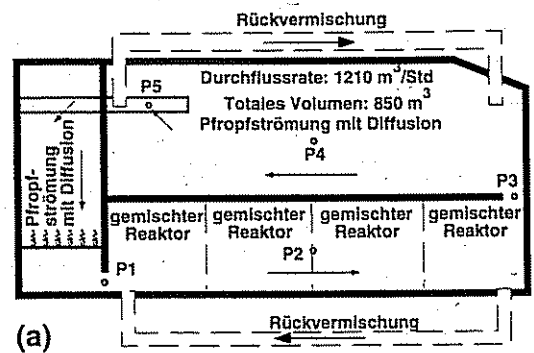
Neben den erwünschten Effekten entstehen bei der Ozonung von Trinkwasser auch zahlreiche Nebenprodukte [3]. Bromat, das bei der Ozonung von bromidhaltigen Wässern entsteht [4], ist heute das wichtigste Desinfektionsnebenprodukt der Ozonung und hat anfangs der neunziger Jahre wegen seiner potentiell kanzerogenen Wirkung zur Festsetzung von neuen Höchstkonzentrationen geführt [5]. Die Höchstkonzentrationen von Bromat sind in ihrer Bedeutung für Ozonungsprozesse vergleichbar mit denjenigen für Trihalogenmethane, wie sie während der Chlorung von Trinkwasser entstehen können. In der Schweiz spielt Bromat eine untergeordnete Rolle, da im allgemeinen die

Bromidgehalte der Rohwässer sehr gering sind.

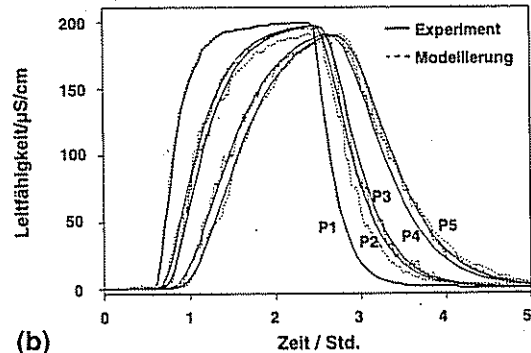
In vielen Wasserversorgungen in Europa und den USA muss jedoch der Einsatz von Ozon nun so optimiert werden, dass die Desinfektion und Oxidation gewährleistet sind, bei gleichzeitiger Minimierung der Nebenprodukte (vor allem Bromat). Dieses Ziel kann nur dann erreicht werden, wenn sowohl die hydraulischen Verhältnisse als auch der Verlauf der Oxidantienkonzentrationen im Ozonungsreaktor bekannt sind.

Charakterisierung eines Ozonungsreaktors

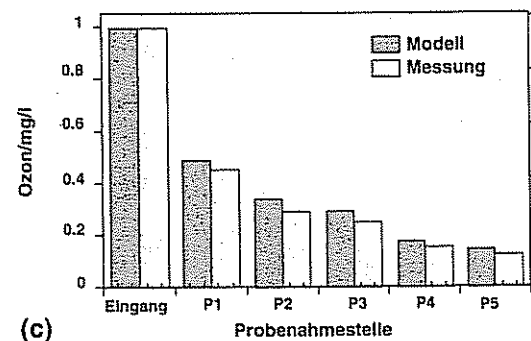
In Ozonungsreaktoren vieler Wasserwerke sind weder Hydraulik noch Oxidantienkonzentrationen gut bekannt. Das neue Lebensmittelgesetz vom 1. Juli 1995 verlangt indessen von Wasserwerken eine «Gute Herstellungspraxis», d.h. der Selbstkontrolle wird ein grosser Stellenwert beigemessen [6]. Um dies zu erfüllen, müssen die Betreiber von Wasserwerken ihre Aufbereitungsstufen bewerten (validieren), um auch in kritischen Situationen (Verschmutzung des Rohwassers) den Wirkungsgrad ihrer Anlagen abschätzen zu können. Im vorliegenden Artikel wird exemplarisch gezeigt, wie eine Ozonungsstufe charakterisiert werden kann. Ausgehend von Experimenten mit einem konservativen Tracer konnte die Hydraulik des Reaktors beschrieben werden. Mittels Modellierung (AQUASIM [7]) erfolgte eine Kopplung der Hydraulik mit



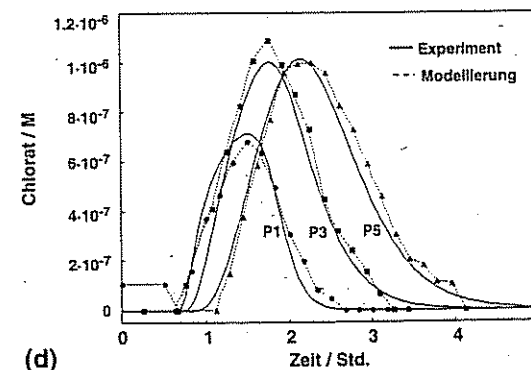
(a)



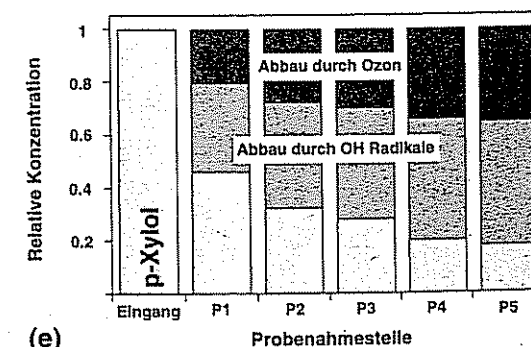
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 2

- a) Ozonierungsreaktor im Seewasserwerk Lengg. Aufteilung des Reaktors, wie sie für die hydraulische Modellierung verwendet wurde.
 b) Durchbruchkurven für einen konservativen Tracer (NaCl): Experiment und Modellierung für die Probenahmestellen P1–P5.
 c) Gemessenes und modelliertes Ozonprofil im Reaktor.
 d) Chlorat als reaktiver Tracer: Experiment und Modellierung.
 e) Abschätzung des Abbaus von p-Xylol durch Ozon und OH Radikale.

chemischen Prozessen. Reaktive Tracer dienten in zwei Stufen zur Validierung des Modells: 1. der Zerfall von Ozon, 2. die Reaktionen von Ozon mit Hypochlorit.

Tracertest

Der Vorozonierungsreaktor im Seewasserwerk Lengg (Wasserversorgung Zürich) wurde mit fünf Probenahmestellen (P1–P5) versehen, um sowohl Hydraulik, als auch chemische Prozesse zu charakterisieren (Fig. 2a). In der ersten Kammer wird Ozon ins Wasser eingetragen, danach folgen zwei weitere Kammern, in der Desinfektions- und Oxidationsprozesse stattfinden. Obwohl ursprünglich als Pfropfströmungsreaktor konzipiert, findet eine starke Durchmischung im Reaktor statt. Die in Fig. 2b dargestellte gute Übereinstimmung des Tracerexperiments mit der Modellierung wurde durch die Unterteilung des Reaktors gemäss Fig. 2a erreicht und beinhaltet eine starke Rückvermischung. Die starke Rückvermischung geht bereits aus dem Vergleich der Probenahmestellen 2 und 3 hervor. Obwohl diese beiden Stellen weit auseinanderliegen, sind die Durchbruchkurven für den Tracer praktisch identisch. Das gleiche Verhalten gilt für die Probenahmestellen 4 und 5.

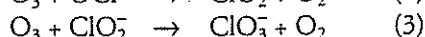
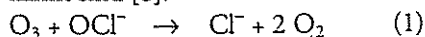
Ozonzerfall

Ozon hat im Wasser eine relativ kurze Lebenszeit und zerfällt in sekundäre Oxidantien, vor allem OH Radikale. Die Kinetik der Abnahme von Ozon im Seewasser kann im Labor gemessen und für die Modellierung verwendet werden. Der Vergleich der im Reaktor gemessenen und mit dem Modell simulierten Ozonkonzentrationen zeigt eine sehr gute Übereinstimmung (Fig. 2c).

Reaktionen von Ozon mit Hypochlorit

Um eine Besiedlung der Rohwasserleitung mit Wandermuscheln zu verhindern wird diese einmal pro Monat mit einer Stosschlorung gereinigt. Dazu wird die Rohwasserleitung mit einer Lösung von 10 mg Cl₂/l gefüllt.

Nach 8 h Einwirkzeit werden die Pumpen eingeschaltet und die Chlorlösung mit ca. 5 mg Cl₂/l gelangt in den Vorozonierungsreaktor. Die routinemässig durchgeführte Stosschlorung kann nun dazu verwendet werden, das Modell mit einem reaktiven Tracer zu testen. Zwischen Ozon (O₃) und Hypochlorit (OCl⁻) finden folgende Reaktionen statt, deren Kinetiken bekannt sind [8]:



Ozon reagiert nur mit Hypochlorit und nicht mit unterchloriger Säure (HOCl), weshalb das Protonierungsgleichgewicht (4) berücksichtigt werden muss. Da aus dem obigen Reaktionsschema bekannt ist, welcher Anteil von Hypochlorit zu Chlorat (ClO₃⁻) oxidiert wird, kann mittels der Chloratbildung das Modell validiert werden. In Abb. 2d ist für ein Stosschlorungsexperiment ein Vergleich zwischen der gemessenen und modellierten Chloratbildung im Reaktor dargestellt. Die gute Übereinstimmung der beiden Datensätze zeigt wiederum, dass im Labor bestimmte Reaktionskinetiken unter Berücksichtigung der Hydraulik direkt auf eine Grossanlage übertragbar sind.

Oxidation von organischen Spurenstoffen

Wie schon oben erwähnt, zerfällt Ozon im Wasser unter Bildung von OH-Radikalen, die sich durch eine enorme Reaktivität gegenüber den meisten Wasserinhaltsstoffen auszeichnen. Die wichtigsten Senken für OH-Radikale im Trinkwasser sind Carbonat/Bicarbonat und das natürlicherweise vorhandene organische Material (NOM). Da diese Wasserinhaltsstoffe in relativ hohen Konzentrationen vorliegen, ist die resultierende Konzentration der OH-Radikale so klein, dass sie durch direkte Methoden (z.B. Elektroden, Spektrophotometrie etc.) nicht erfasst werden kann. Deshalb muss die Messung der OH-Radikal-Konzentration ([[•]OH]) über indirekte Methoden

erfolgen (z.B. über die Abnahme eines organischen Spurenstoffs). Aus solchen Labormessungen resultiert das Verhältnis [[•]OH]/[O₃], welches für ein bestimmtes Wasser über einen weiten Bereich der Ozonung konstant bleibt. In der Trinkwasseraufbereitung kann somit aus der routinemässigen Messung der Ozonkonzentration die Konzentration von OH-Radikalen bestimmt werden. Daraus lässt sich die Abnahme von organischen Spurenstoffen (z.B. Pestizide, chlorierte CKWs, Methylbenzole etc.) berechnen. In Abb. 2e ist eine Computersimulation für die Abnahme von p-Xylol dargestellt. Es zeigt sich, dass dieser Spurenstoff im Vorozonierungsreaktor zu 35% durch Ozon und zu 47% durch OH-Radikale abgebaut wird.

Die vorliegende Studie zeigt, dass es möglich ist durch Bestimmung der Hydraulik und Messung des Ozonzerfalls (inklusive Verhältnis [[•]OH]/[O₃]) die Oxidation in einem Ozonierungsreaktor vollständig zu beschreiben. Damit kann ein Wasserwerk voraussagen, wie rasch ein bestimmter Spurenstoff in dieser Aufbereitungsstufe abgebaut wird und im Falle einer Verschmutzung gezielte Massnahmen ergreifen.

- [1] Situation der Wasserversorgung in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 212, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1993.
- [2] Nägeli, F. Auswirkungen des Phenolunfalles vom 20. September 1967 im Wasserwerk der Stadt Zürich, Gas-Wasser-Abwasser 49, 1969.
- [3] Glaze, H.W. and Weinberg, H.S. (1993): Identification and occurrence of ozonation by-products in drinking water. Report AWWA Research Foundation.
- [4] von Gunten, U. and Hoigné, J. (1994): Bromate formation during ozonation of bromide-containing waters: interaction of ozone and hydroxyl radical reactions. Environ. Sci. Technol. 28: 1234–1242.
- [5] World Health Organisation (1993): Guidelines for Drinking Water Quality, Geneva.
- [6] Tremp, E. (1995): Neue gesetzliche Bestimmungen über Trinkwasser und Anlagen oder Apparate zur Aufbereitung von Trinkwasser. Gas-Wasser-Abwasser 8: 671–673.
- [7] Reichert, P.: Concepts underlying a computer program for the identification and simulation of aquatic systems. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 7, Dübendorf, 1994.
- [8] Haag, W.R. and Hoigné, J. (1983): Ozonation of water containing chlorine or chloramines. Water Res. 17: 1397–1402.

Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Jin Qian, Laura Sigg,
HanBin Xue, Daniel Kobler, Alfred Lück und Yvo Weidmann

Transport von Kobalt im Bielersee –

dem Aarewasser auf der Spur



Achim Albrecht, Gerrit Goudsmit, Daniel Kobler, Alfred Lück, Jin Qian, Laura Sigg, Yvo Weidmann, HanBin Xue (Aufnahmen: Diana Horning)

Das Interesse am Verhalten von Metallen in natürlichen Systemen ist durch neue Erkenntnisse bezüglich ihrer Beweglichkeit und dem damit möglicherweise verbundenen Abwandern aus Altlasten und Endlagern stark gestiegen. Am Element Kobalt im Bielersee sollen wichtige Prozesse wie Adsorption, Sedimentation und Weitertransport beobachtet und quantifiziert werden. Dabei spielen Partikel und die Form der in Lösung befindlichen Metalle eine grosse Rolle.

Das Verhalten von Metallen in aquatischen Systemen kann skizzenhaft in zwei Kategorien untergliedert werden (Fig. 1). Bleibt das Metall gelöst, so verhält es sich wie das Transportmilieu Wasser (1). Reagieren die Metalle mit Partikeln, mit Kolloiden oder organischen, gelösten Substanzen, so wird ihr Schicksal mit dem ihres Trägers gekoppelt. Neben dem Weitertransport kann es zur Ablagerung oder zur direkten Sorption an immobile Stoffe kommen (2). Jede mögliche Reaktion kann in beiden Richtungen ablaufen und hängt von lokalen chemischen Bedingungen ab. Dieses Schema gilt sowohl für oberflächennahe, als auch für im Untergrund ablaufende Prozesse, wobei die oberflächennahen eine einfachere Hydrologie und bessere Zugänglichkeit aufweisen.

Das Arbeitsgebiet Aare-Bielersee (Fig. 2) zeichnet sich zusätzlich durch den aussergewöhnlichen Vorteil aus, dass radioaktives ⁶⁰Co ausnahmslos vom Kernkraftwerk Mühleberg abgegeben wird und somit seine Menge bekannt ist. Sie liegt weit unterhalb des behördlich festgelegten Grenzwertes. Da der See sehr stark durch die Aare beeinflusst ist, können Wasser-, Partikel- und Metallbilanzen leicht berechnet werden.

Partikelverteilung und Zusammensetzung

Die Partikelkorngrösse spielt für die Adsorption von Metallen eine erste Schlüsselrolle, da kleinere Partikel wegen eines grösseren Oberflächen-zu-Massenverhältnisses mehr Metalle an sich binden können. Ein Vergleich der Korngrössenverteilungen von Partikeln, die in Sedimentfallen im seetiefsten Teil des NO Beckens (Stelle B in Fig. 2) und im Aaredelta (Stelle A) im Juli 1996 gesammelt wurden, zeigt deutliche Unterschiede (Tab. 1; Fig. 3). Der Median liegt für Deltapartikel bei Werten >25 µm und für Partikel aus dem Seetiefsten unterhalb 15 µm. Die mineralogische Zusammensetzung der Partikel spielt die zweite Schlüsselrolle (Tab. 1). Tonminerale sorbieren aufgrund ihres Schichtsilikataufbaus Metallionen sehr viel effizienter, als

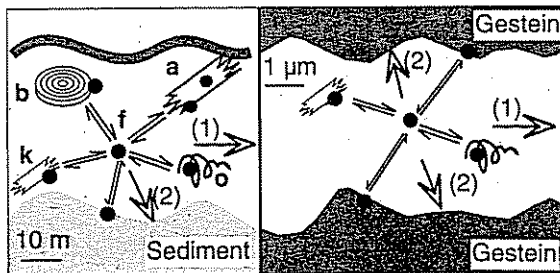


Fig. 1
Schematische Darstellung des Verhaltens von Metallen (gefüllte Kreise) in Seen und Flüssen (links) und im Untergrund (rechts). In beiden Systemen werden die Metalle entweder weiter transportiert (1) oder gebunden an Sediment/Gestein (2) zurückgehalten.
Abkürzungen: f = freies Metall, b = biologisches, a = anorganisches Partikel, k = Kolloid, o = organische gelöste Substanz.

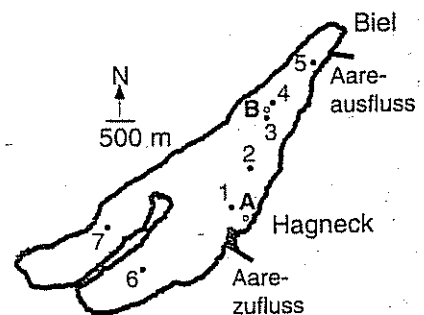


Fig. 2
Karte des Bielersees mit Lokalisation der Sedimentkerne (1-7) und Sedimentfallen (A und B).

Stelle	⁶⁰ Co Fluss [Bq m ⁻² d ⁻¹]	Sedimentationsrate [cm/Jahr]	Korngrösse [Median in μm]	Anteile Stickstoff [%]	Quarz [%]	Feldspat [%]
Kerne						
1	0.29	3.7	23.6	0.17	18	14
2	0.44	1.4	8.8	0.23	21	7
3	0.97	2.0	7.5	0.34	12	2
4	0.38	1.7	8.9	0.47	-	-
5	0.48	2.0	14.5	0.5	-	-
6	0.65	1.5	11.6	0.39	9	1
7	0.43	1.4	8.5	0.33	14	2
Fallen						
A	-	-	27.1	0.2	19	3
B	0.41	-	14.9	0.33	8	1

Tab. 1
Co-Fluss und Partikelinformation.

dies für Gerüstsilikate (Quarz oder Feldspat) oder Karbonate (Calzit) der Fall ist. Zusätzlich erlaubt es der Anteil von silikatischen Mineralien (Tone, Quarz und Feldspat), die Bedeutung von Aarepartikeln am Ort der Probenahme direkt abzuschätzen, da diese,

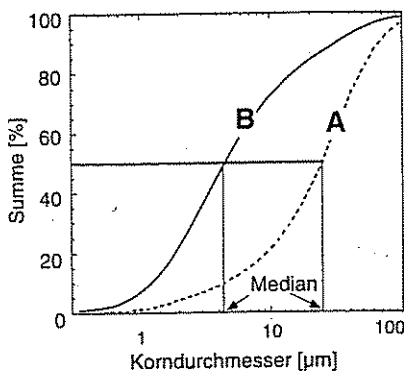


Fig. 3
Charakterisierung von Partikeln aus dem Aaredelta (A) und dem Seetiefen (B) mittels Korngrößenverteilung (mittlere Grafik) und Rasterelektronenaufnahmen. Balken entspricht 30 μm. (Fotos Y. Weidmann)

im Gegensatz zu den Karbonaten, ausschliesslich Erosionsprodukte aus dem Einzugsgebiet darstellen und nicht im See gebildet werden. Der Anteil von Quarz und Feldspat nimmt z.B. mit zunehmender Distanz zum Aaredelta von 30 auf 10% ab. Die dritte Schlüsselrolle spielen Partikel biologischer Herkunft, die sich als effiziente Metalladsorbenten auszeichnen. Der an Partikel gebundene Stickstoff (Tab. 1) informiert über den relativen organischen Anteil in den Proben. Die vierte Schlüsselrolle spielen Mangan- und Eisenhydroxide. Da diese sehr oft als Überzug anderer Partikel auftreten und von daher kaum getrennt analysiert werden können, möchten wir diese vorerst ausklammern. Die Trends der Abnahme der Korngrösse, Zunahme des organischen Anteils und Abnahme des Quarz- und Feldspatanteils informieren alle über die Änderung des Aarepartikeleinflusses im See (Tab. 1).

⁶⁰Co Aktivitäten und Inventar

Die an Sediment- und Partikelproben gemessenen ⁶⁰Co Aktivitäten erlauben es, für den See ein Inventar zu erstellen. Für die Umrechnung von gemessenen Aktivitäten [Bq/kg; Fig. 4] in Flüsse [Bq m⁻² Tag⁻¹] bedarf es einer Beziehung zwischen Probenmasse und Ablagerungsperiode, die für Sedimentkerne mit Hilfe einer ¹³⁷Cs-Datierung erstellt werden kann (Fig. 4). Die Maxima in der ¹³⁷Cs Aktivität stehen in Zusammenhang mit erhöhten Ablagerungen bedingt durch atmosphärische Atombombentests (Maximum 1963), Tschernobyl (1986) und dem

Kernkraftwerk Mühleberg (1976–78); ⁶⁰Co spiegelt die Abgaben von Mühleberg wieder, mit einem Maximum im August 1982. In sämtlichen Kernen des Bielersees erlauben es diese Radionuklidtiefenverteilungen die Sedimente zu datieren und jeder einzelnen Probe eine Ablagerungsperiode zuzuweisen. Diese ermöglicht eine Zerfallskorrektur der ⁶⁰Co-Aktivität auf den Zeitpunkt der Ablagerung. Somit können für sämtliche Kerne Durchschnittsflüsse für ⁶⁰Co für die Periode ab 1986 errechnet werden (Tab. 1). Es ist besonders auffällig, dass der Maximalwert (0.97 Bq m⁻² Tag⁻¹, Kern 3) und ein relatives Minimum (0.38 Bq m⁻² Tag⁻¹, Kern 4) von Kernen stammen, die in unmittelbarer Nähe gezogen wurden. Demzufolge spielen lokale sedimentologische Variationen eine zumindest ebenso grosse Rolle, wie die räumliche Verteilung der Radionuklide im See. Aus diesem Grund wurde jeder Sedimentkern für die Berechnung der Gesamtablagerung gleich gewichtet. Durch Multiplikation der Sedimentationsfläche des Bielersees von 3 × 10⁷ m² mit dem Durchschnittsfluss von 0.52 Bq m⁻² Tag⁻¹ erhält man die durchschnittliche tägliche Ablagerung von 1.6 × 10⁷ Bq Tag⁻¹. Daraus und unter Heranziehung der durchschnittlichen täglichen Ab-

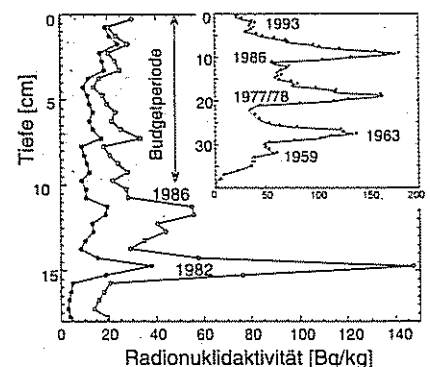


Fig. 4
Tiefenprofil der Radionuklide ⁶⁰Co (grosser Ausschnitt bis 20 cm Tiefe) und ¹³⁷Cs (Nebensbild bis 40 cm Tiefe) im Bielerseekern 2. Mittels der ¹³⁷Cs Verteilung kann der Kern und damit jede individuelle Probe altersdatiert werden und die gemessene ⁶⁰Co Aktivität (gefüllte Kreise) auf die Aktivität während der Ablagerung (offenen Kreise) zerfallskorrigiert werden (s. auch [1]).

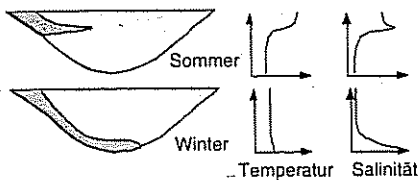


Fig. 5
Schematische Darstellung der Einsichtung der Aare im Bielersee. In den Sommermonaten schichtet sich die Aare im Tiefenbereich knapp unterhalb der gemischten warmen Oberflächenschicht ein (oben). Im Winter bedingt der hohe Salzgehalt ein Abtauchen in grössere Tiefen (unten). Als Indikator für das Aarewasser im Bielersee kann der Salzgehalt verwendet werden (rechts).

gabe durch das Kernkraftwerk Mühleberg (für die Periode 1986–Oktober 1996) von 3.0×10^7 Bq Tag⁻¹ berechnet sich der Anteil des im Bielersee abgelagerten ⁶⁰Co auf 52%. Diese Ergebnisse konnten durch Sedimentfalldaten aus dem Seetiefsten bestätigt werden. Von Anfang Juli bis Anfang September 1996 wurde in den drei Fallen eine durchschnittliche Ablagerung von 1.2×10^7 Bq Tag⁻¹ ⁶⁰Co gemessen. Verglichen mit einer durchschnittlichen Abgabe durch das KKW Mühleberg von 1.9×10^7 Bq Tag⁻¹ berechnet sich ein Anteil von 66%.

Einsichtung der Aare

Für die Dynamik der Metallionen ist die Einsichtung der Aare ein wichtiger Vorgang. Sie bestimmt die mittlere Verweilzeit im See und damit die für die Adsorption an Partikel oder Kolloide zur Verfügung stehende Zeit.

Die Einsichtungstiefe eines Seezuflusses hängt ab vom Dichteunterschied der beiden Gewässer. Die Dichte wiederum wird durch die Temperatur, den Salz- und den Schwefelstoffgehalt bestimmt.

In den Sommermonaten weist der Bielersee eine starke Temperatur- und Dichteschichtung auf. Das Oberflächenwasser des Bielersees ist in der Regel wärmer und führt weniger gelöste Salze als das Aarewasser; die Aare schichtet sich deshalb direkt unterhalb dieser Schicht, in der Thermokline ein (Fig. 5). Aus diesem Grund und wegen der hohen Zuflussrate der Aare im Vergleich zur Grösse des Bielersees beträgt die berechnete Verweilzeit des Aarewassers im Bielersee im Sommer nur

ca. eine Woche, was auch im Färbeversuch bestätigt werden konnte.

In den Wintermonaten ist der Bielersee hingegen nur sehr schwach geschichtet (Fig. 5) und die Temperatur variiert nur wenige zehntel Grade. Da die Temperatur beider Gewässer jetzt um etwa 4 °C liegt, wird der Salzgehalt für die Dichte und damit die Einsichttiefe bedeutsam. Aus einem typischen Salinitätsprofil ist ersichtlich, dass sich die Aare, die mehr gelöste Salze führt als das Bielerseewasser, im Winter in der Tiefe einschiebt. Die mittlere Aufenthaltszeit des Aarewassers ist dadurch wesentlich höher als im Sommer (>60 Tage).

Seetraverse

Da sich das Aarewasser während der warmen Jahreszeit in der obersten Seeschicht einmischt, ist sein Bewegungsspielraum entsprechend eingeschränkt. Dies vereinfacht sein Aufspüren im See. Zur eindeutigen Bestimmung wurde während eines Feldversuchs dem Aarewasser, zusätzlich zu einer regulären Abwasserabgabe des Kernkraftwerks Mühleberg, der Farbstoff Uranin hinzugefügt. Der Versuch begann am 19.8.96 abends beim Kernkraftwerk Mühleberg und endete am 27.8.96 im Bielersee nahe dem Ausfluss (Fig. 6). Der Durchbruch des Farbstoffs wurde am nächsten Morgen in Hagneck gemessen und diente zur Festlegung der Probenahme für Kobalt- und Partikelbestimmungen. Weitere Beprobungen im See folgten am 20., 21., 22. und 27.8.96. Lokalität und Tiefe des Uranins (bzw. des Aarewassers) konnten mittels Sondenmessungen ermittelt werden und erlaubten es, dem Aarewasser auf die Spur zu kommen. Die Konzentrationen des Farbstoffs, in Abhängigkeit von der Tiefe, bei den verschiedenen Lokalitäten informieren über die zunehmende Verdünnung des Aarewassers mit Seewasser. Wegen der geringen Aktivität von ⁶⁰Co im Abwasser des Kernkraftwerks konnte lediglich in Hagneck eine Aktivität nachgewiesen werden. Sie betrug 1.1 Bq m^{-3} ($4.4 \times 10^{-7} \text{ nM}$)

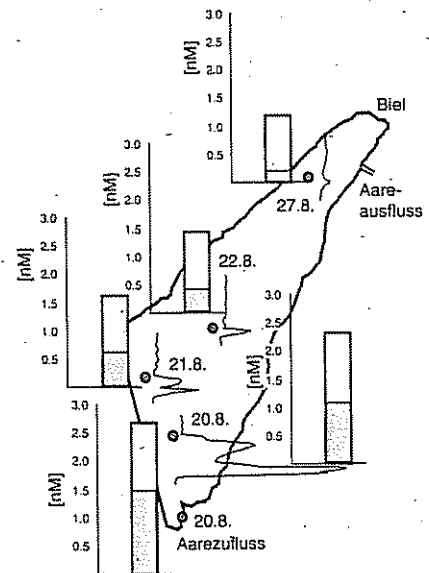


Fig. 6
Mittels eines Farbstoffs und der Messung von Tiefenprofilen war es möglich, dem Aarewasser im Bielersee auf der Spur zu bleiben. Neben der Lokalisierung erlauben die Profile, die relative Durchmischung von Aare- und Seewasser abzuschätzen. Von den an jeder Stelle durchgeführten Messungen sind die Kobaltgesamtkonzentration und der partikuläre Anteil (punktiert) graphisch dargestellt. Die Abnahme der Konzentration von 2.7 auf 1.2 nM lässt es zu, den im See zurückgehaltenen Kobaltanteil auf etwa 50% abzuschätzen. Die Bedeutung von Partikel gebundenen Anteils von 55 auf 16%.

mit einem partikulären Anteil von 58% (Partikel >0.45 µm). Im See sank die ⁶⁰Co-Aktivität unterhalb der Nachweisgrenze.

Das stabile, natürlich vorkommende ⁵⁹Co konnte bei Hagneck und im See bestimmt werden (Fig. 6). Bei Hagneck lag die Konzentration bei 2.7 nM, im See verkleinerte sie sich mit zunehmender Distanz zum Aarezufluss und erreichte nahe Biel ein Minimum von 1.2 nM. Der partikuläre Anteil zeigt für ⁵⁹Co einen ähnlichen Trend wie für ⁶⁰Co. Bei Hagneck betrug er noch 55% und nahm kontinuierlich bis auf 16% ab. Die während der Seedurchquerung stattfindende Abnahme der Konzentration des stabilen Kobalts berechnet sich auf 55%, was – eventuell durch Zufall – mit der auf Sedimenten (52%), als auch Sedimentfallen (66%) basierenden ⁶⁰Co-Verminde rung sehr gut übereinstimmt.

Eine Übereinstimmung der auf beiden Kobaltisotopen basierenden Ergebnisse wäre in keinem Fall eine

Banalität, wie die grosse Vielfalt chemischer Spezies, die Koexistenz zweier Oxidationsstufen und die unterschiedliche Herkunft der Kobaltisotope zeigt [2]. Sie ermöglicht jedoch den wichtigen Schritt, biogeochemische Daten des stabilen Kobalts für die Interpretation des radioaktiven ^{60}Co heranzuziehen. So kann z.B. mittels polarographischen Methoden die chemische Form des Kobalt ermittelt werden. Dabei kann zwischen freien, positiv geladenen Kationen und organischen, zumeist negativ geladenen Komplexen unterschieden werden. Dies ist jedoch erst ab einer Konzentration von 0.06 nM möglich, was weit oberhalb der ^{60}Co Konzentration liegt. Erste Ergebnisse zeigen, dass der organisch komplexierte Anteil in allen Proben über 75% liegt, wobei ein Trend Richtung zunehmender organischer Komplexierung des Kobalts von der Aare (77%) in den See (93%) erkennbar ist. Diese Daten zur Spezierung des Kobalt bringen uns einen wichtigen Schritt weiter im Verständnis des Metalltransports. Diese Neigung des Kobalt, mit gelösten organischen Sub-

stanzen eine Bindung einzugehen, erhöht die Anzahl der Mitspieler im Wettkampf um Metallionen, was in der Regel eine Abnahme des an Partikel gebundenen Anteils verursacht. Der komplexierte Kobaltanteil verbleibt in gelöster Form, und verlässt in unserem Fall den Bielersee.

Die während des Versuchs abgetrennten Partikel zeigen ähnliche Trends, wie Messungen an Sedimentproben. Zum Beispiel stieg der Stickstoffanteil suspendierter Partikel von 0.78% am 20.8. in der Aare auf 1.3% und 1.6% am 21., respektive 22.8., im See an. Trotz dieser Heterogenitäten ist die Verteilung von ^{60}Co im See recht homogen. Demzufolge handelt es sich bei den für den Kobalttransport verantwortlichen Partikel um sehr feine Partikel, die durch die im See vorhandenen Strömungen ziemlich gleichmässig verteilt werden. Diese Steuerung der Metallverteilung durch feinste Partikel und der mit ihnen reagierenden gelösten organischen Substanzen, erlaubt einen direkten Vergleich der im See und im Untergrund ablaufenden Prozesse (Fig. 1)

und damit einen Informationsaustausch unter Forschern beider Systeme.

Dank

Für die logistische Unterstützung, die wir durch das Kernkraftwerk Mühleberg, die Kraftwerkgruppe Seeland und das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern erhielten, möchten wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken. Röntgendiffraktionsbestimmungen wurden in der Universität de Neuchâtel (Géologie) durchgeführt. Diese Forschung wird durch die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) finanziell unterstützt.

- [1] Reiser, R., Toljander, H., Albrecht, A., and Giger, W. (1997) Alkylbenzenesulfonates in recent lake sediments as molecular markers for the environmental behavior of detergent-derived chemicals. in: Eganhouse R.P., Ed., Molecular markers in environmental geochemistry, Amer. Chem. Soc. Symposium Series, volume 671, chapter 13.
- [2] Leonard, K.S., McCubbin, D. and Harvey, B.R. (1993) A radiochemical procedure for the determination and speciation of radiocobalt in environmental waters. The science of the total environment. 130/131: 237-251.

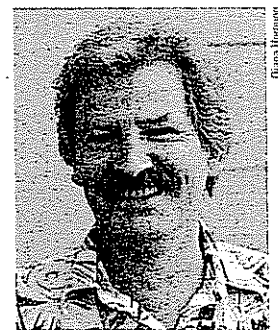
Verleihung des Professorentitels an Markus Boller

Der ETH-Rat hat Dr. Markus Boller aufgrund seiner hervorragenden fachlichen und didaktischen Leistungen den Titel eines Professors der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich verliehen.

Markus Boller hat seine Tätigkeit an der EAWAG 1973 aufgenommen, nachdem er die Studien für Kulturtechnik an der ETH Zürich und für Sanitary Engineering an der Technischen Universität Delft abgeschlossen hatte. Er beschäftigte sich zuerst, unter anderem im Rahmen einer Doktorarbeit, mit der Flockungfiltration. Ueber mehr als zwei Jahrzehnte hinweg erfolgte dann eine breitgefächerte Tätigkeit als Umweltingenieur mit Schwergewicht auf den technischen Belangen der Siedlungswasserwirtschaft.

Seit 1983 war er intensiv in der Lehre an der ETH und in Kursen von Fachverbänden aktiv. Die Weiterbildung in Trinkwasser- und Abwassertechnologie innerhalb der praxisorientierten EAWAG-Kurse hat Markus Boller wesentlich mitgeprägt. Er gehört zu den Spitzenreitern unter den Referenten an den jährlichen Informationsveranstaltungen der EAWAG.

Neben seinen hohen fachlichen und persönlichen Qualitäten ist Markus Boller auch für sein Wirken als EAWAG-Poet bekannt geworden. Viele festliche Anlässe (Jahresschlussfeiern, Geburtstage, Rücktritte, Jubiläen) hat er durch seine in Versform verfassten Beiträge humorvoll bereichert. Als kleine Kostprobe folgen am Schluss dieser kurzen Laudatio einige Zeilen beruhend auf Versen, die Markus



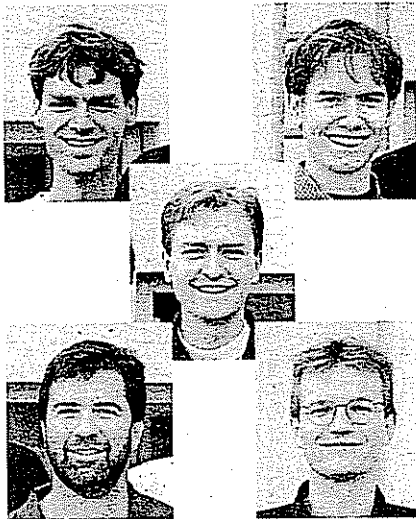
Oliver Buehler

Boller anlässlich seines Rücktrittes als alternierender Leiter der EAWAG-Abteilung für Ingenieurwissenschaften verfasst hat. (Walter Giger)

Nun ist der Boller bei den Professoren und hält auch künftig steife Ohren.

Er hat jetzt einen noch schärferen Blick für Trinkwasser und EAWAG-Politik.

Bakterien können die bioverfügbaren Konzentrationen verschiedener Umweltschadstoffe anzeigen



Jan Roelof van der Meer, Marco Jaspers, Patrick Sticher, Ronen Tchelet und Hauke Harms

Die erstaunliche Empfindlichkeit und Spezifität von Proteinen für bestimmte Verbindungen können wir aus eigener Erfahrung beurteilen, obwohl wir uns dessen kaum bewusst sind. So basiert unser Geruchssinn auf der Wechselwirkung von Duftmolekülen, natürlichen oder synthetischen, mit sogenannten Rezeptorproteinen. Dass auch Bakterien Verbindungen in ihrer Umgebung wahrnehmen, sieht man ihnen nicht ohne weiteres an. Wie man sie aber mit molekularbiologischen Methoden dazu bringen kann, dass sie die Wahrnehmung bioverfügbarer Substratmoleküle anzeigen, wird im folgenden beschrieben.

Was ist eigentlich Bioverfügbarkeit?

Die geringe Abbauleistung von Bakterien im Boden beruht in vielen Fällen auf der schlechten Zugänglichkeit der Schadstoffe für die Bakterien. Nicht der mangelnde Appetit, sondern die schlechte Versorgungslage ist das Problem. Die Schadstoffe sind zwar objektiv im Boden vorhanden, das sagt uns eine ausgefeilte chemische Analytik. Für Bodenbakterien jedoch, die auf im Bodenwasser gelöste Verbindungen

angewiesen sind, ist häufig der überwiegende Teil der Schadstoffe nicht verfügbar. Viele synthetische Verbindungen wurden gezielt auf schlechte Wasserlöslichkeit hin produziert, weil sie eigentlich als Hydrauliköle oder Lösungsmittel für die chemische Reinigung gedacht waren. Im Boden liegen solche Verbindungen an Partikel sorbiert oder als Öltropfen vor (Fig. 1). Bakterien können von diesen Verbindungen nur jeweils die wenigen Moleküle abbauen, die in das Bodenwasser übergetreten sind und den Weg durch das Labyrinth von Bodenpartikeln hin zu den Bakterien gefunden haben. Die starke Tendenz der Bodenbakterien, an Bodenpartikeln kleben zu bleiben, schützt sie zwar vor dem Gefressenwerden, hindert sie aber auch daran, sich selbst auf den Weg zu den Schadstoffen zu machen. Wenn wir nun einen Boden im beschriebenen Zustand mit konventionellen chemischen Methoden analysieren, werden wir eine hohe Schadstoffbelastung messen. Auch lassen sich Bakterien aus solchem Boden isolieren, die eigentlich abbaaktiv sind. Dies stand für uns lange Zeit im Widerspruch zu der geringen Abbauaktivität. Die chemische Schadstoffanalytik zielt aber darauf ab, die vorhandenen Schadstoffmengen vollständig zu erfassen – mit Erfolg. Sie ist daher nicht geeignet, die für den Abbau entscheidende, bioverfügbare Schadstoffkonzentration zu ermitteln.

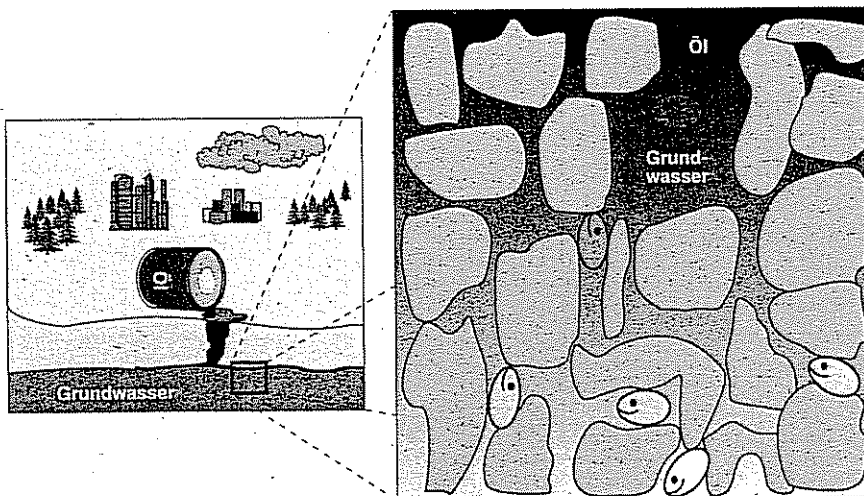


Fig. 1 Ausgelaufenes Heizöl wird wegen seiner geringen Dichte zum größten Teil auf der Oberfläche des Grundwassers schwimmen. Die geringe Wasserlöslichkeit vieler Ölbestandteile kann der Grund für deren relativ schlechte Verfügbarkeit für Grundwasserbakterien sein. Während in unmittelbarer Nähe zur Ölphase noch besserlösliche Ölbestandteile im Wasser vorhanden sind, dürften die Konzentrationen in größerem Abstand, und besonders innerhalb von Bodenaggregaten, nicht mehr für bakteriellen Abbau ausreichen.

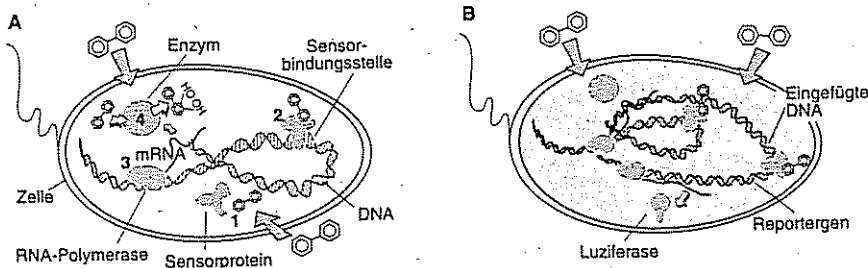


Fig. 2
Schematische Darstellung eines natürlichen und eines Reporterbakteriums.

(A) Ein Sensorprotein erkennt die in die Zelle aufgenommene Verbindung und bindet an die Sensorbindungsstelle der DNA (1, 2). Dieses löst das Ablesen der DNA durch die RNA-Polymerase aus (3). Es wird spezifisch das Enzym gebildet, welches die Verbindung umwandeln kann (4).

(B) Im Reporterbakterium ist eine zweite identische Sensorbindungsstelle an das Gen für die Luziferase gekoppelt. Die aufgenommene Verbindung aktiviert jetzt neben der Bildung der Abbauenzymen auch die Bildung der leuchtenden Luziferase.

Biosensoren für die Bioverfügbarkeit von Schadstoffen

Unbestechliche Informationen darüber, wieviel eines in der Umwelt vorhandenen Stoffes für eine biologische Wechselwirkung (z.B. den Schadstoffabbau) zur Verfügung steht, können wir nur von einem biologischen System, also einem geeigneten Organismus oder bestimmten Biomolekülen erhalten. Systeme, die so etwas leisten, können als Biosensoren verwendet werden [2]. Biosensoren bestehen generell aus zwei Komponenten, einem empfindlichen biologischen Erkennungselement und einem Signalelement. In unserer Arbeitsgruppe entstand der Plan, ausgehend von schadstoffabbauenden Bodenbakterien, sogenannte Reporterbakterien zu konstruieren, welche uns die Bioverfügbarkeit ihrer Nahrung mitteilen können. Die Anforderungen, denen ein solcher Biosensor gerecht werden muss, sind im Kasten aufgeführt.

Reizwahrnehmung bei Bakterien

Für die Konstruktion von Reporterbakterien nutzt man die Tatsache, dass auch Bakterien so etwas wie Wahrnehmung besitzen. Auch sie können Veränderungen in ihrer Umgebung erkennen und sinnvoll auf diese Reize reagieren. Diese Art zellulärer Reaktionen kann man mit Hilfe molekular-genetischer Techniken künstlich an messbare Signale wie Lichtemission (Biolumineszenz) [1], Fluoreszenz oder

eine Färbung koppeln. Derart modifizierte Bakterien zeigen es uns an, wenn sie eine bestimmte Veränderung wahrnehmen.

Einige Details zu Wahrnehmungsprozessen in Bakterien und den ausgelösten intrazellulären Reaktionen sollen helfen, Reportersysteme und deren Vor- und Nachteile zu verstehen. Auf molekularer Ebene muss man sich die bakterielle Wahrnehmung als eine Abfolge von Wechselwirkungen zwischen chemischen Verbindungen, Proteinen und der DNA vorstellen (Fig. 2A). Die beteiligten Proteine werden Sensor- oder Regulatorproteine genannt. Der erste Schritt in der Abfolge ist ein Zusammentreffen eines spezifischen Sensor- oder Regulatorproteins mit einer chemischen Verbindung. Das kann zum Beispiel eine Verbindung sein, welche in die Zelle hineingelangt ist und dem Bakterium als Nahrung dienen könnte. Die Anlagerung der Verbindung an das Protein bewirkt in diesem eine Modifikation, die am ehesten als Verformung des Proteins zu beschreiben ist. Die eigentliche Wahrnehmung ist damit abgeschlossen.

Die Modifikation im Protein löst jetzt die Reaktion der Zelle aus. Das modifizierte Protein kann hierzu eine Bindung mit anderen Proteinen eingehen, welche dadurch selber leicht verändert werden. In jedem Fall endet die Signalübertragung durch Proteine bei einem Regulatorprotein, welches an die DNA binden kann. Solche DNA-bindenden Proteine erkennen

ein bestimmtes Basenpaarmuster auf der DNA und binden sich ausschliesslich an diese Stellen. Die möglichen Bindungsstellen sind nicht willkürlich auf der DNA verteilt, sondern befinden sich fast immer vor kodierenden Regionen (Genen). Wird jetzt die Wahrnehmung an ein DNA-Bindungsprotein weitergeleitet, bewirkt dieses eine lokale Strukturänderung der DNA-Doppelhelix. Die Strukturänderung kann das Ablesen des benachbarten Gens aktivieren, wodurch ein neues Protein (z.B. ein Abbauenzym) gebildet wird. Bei anderen Wahrnehmungsprozessen kann eine ähnliche Strukturänderung bewirken, dass das Ablesen eines Gens und damit die Synthese eines Proteins gestoppt wird. In beiden Fällen hat die Zelle auf einen äusseren Reiz reagiert.

Bakterien besitzen eine ganze Anzahl verschiedener Sensor- und Regulatorproteine, um alle für sie bedeutsamen Veränderungen feststellen zu können. Obwohl sie alle eine ähnliche Funktion haben, sind die Regulatorproteine sehr unterschiedlich, und gehen jeweils nur sehr bestimmte Wechselwirkungen ein.

Anforderungen an einen Biosensor

- Der Biosensor sollte ausreichend empfindlich sein. Für die Anwendung im Zusammenhang mit der Schadstoffbelastung von Böden bedeutet dies, dass die Detektionsgrenze unterhalb der gesetzlich festgelegten Grenzwerte für als sauber geltende Böden liegen muss.
- Der Biosensor sollte ausreichend spezifisch sein, also nur die Bioverfügbarkeit bestimmter Zielverbindungen anzeigen, und andere Verbindungen ignorieren.
- Der Biosensor sollte ein einfach messbares Signal geben. Da die Bioverfügbarkeit mit der räumlichen Umgebung der Bakterien zu tun hat (siehe Fig. 1), sollte das Signal abgelesen werden können, ohne dass durch die Messung die räumliche Umgebung des Bakteriums beeinflusst wird. Die Verwendung von Mikroelektroden in unmittelbarer Nähe der Bakterien scheidet also aus. Am besten geeignet erscheint ein vom Reporterbakterium ausgehendes, aus der Ferne detektierbares Lichtsignal.
- Der Biosensor sollte robust sein. Das Reporterbakterium sollte sich in den zu untersuchenden Umweltproben wohlfühlen und seine Lebensfähigkeit möglichst wenig durch andere Schadstoffe beeinträchtigt sein.

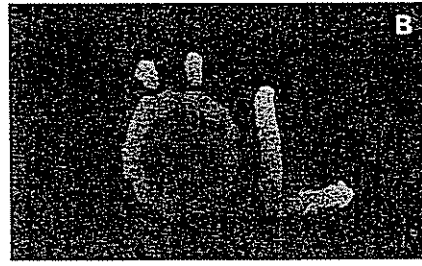
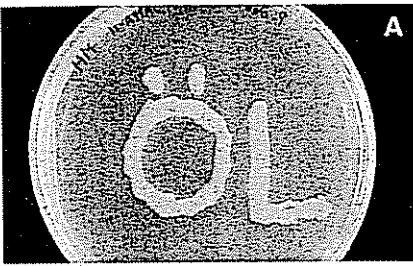


Fig. 3
Auf Agarplatten gewachsene Alkan-Reporterbakterien (A) strahlen nach Wahrnehmung von Oktan blaues Licht ab (B).

Das ist deshalb für die Zelle wichtig, weil sie dadurch vermeiden kann, dass eine bestimmte Wahrnehmung eine unpassende Reaktion auslöst. So binden die Regulatorproteine, welche für die Nahrungserkennung zuständig sind, meistens nur an eine einzige Stelle der gesamten DNA der Zelle. Die Wahrnehmung der chemischen Verbindung ist jedoch weniger spezifisch. Häufig können mehrere Verbindungen ähnlicher Struktur von demselben Regulatorprotein erkannt werden.

Konstruktion von Reporterbakterien

Bei der Konstruktion von Reporterbakterien wird die Region der DNA mit der spezifischen Bindungsstelle für ein Regulatorprotein künstlich an ein anderes Gen gekoppelt. Eine solche Verschmelzung von zwei oder mehreren DNA-Stücken ist im Labor sehr einfach durchzuführen. In unseren Experimenten haben wir gezielt solche DNA-Regionen isoliert, die an der Regulation der Verwertung verschiedenster Kohlenwasserstoffe beteiligt sind. Diese DNA-Regionen stammen aus Bakterien, die diese Verbindungen vollständig verwerten können. So haben wir aus dem Bakterienstamm *Pseudomonas oleovorans*, welcher Alkane mit sechs bis zwölf Kohlenstoffatomen verwerten kann, den DNA-Abschnitt mit der Bindungsstelle für das Alkan-Sensor-/Regulatorprotein «AlkS» isoliert [3]. Auf ähnliche Weise wurde aus *Pseudomonas putida* die Bindungsstelle für das Toluol-Sensorprotein, und aus einem *Pseudomonas azelaica* die Bindungsstelle für das 2-Hydroxybiphenyl-Sensorprotein isoliert.

All diese Bindungsstellen haben wir im Labor einzeln mit einem DNA-

Fragment verknüpft, welches das Gen für die bakterielle Luziferase enthält (Fig. 2B). Die bakterielle Luziferase ist ein Enzym, das Licht ausstrahlen kann [1]. Die kombinierte DNA (der eigentliche «Genreporter») wurde dann in einigen Fällen mit Hilfe einer geeigneten Methode in die ursprünglichen abbaubaren Bakterien zurückgebracht, und dort in das Erbgut integriert.

Die so entstandenen neuen Bakterien bemerken keinen Unterschied zwischen der fremden DNA und ihrem eigenen Erbgut. Sobald sie jetzt Alkane, Toluol oder 2-Hydroxybiphenyl wahrnehmen, wird nicht mehr nur die Abbaureaktion ausgelöst, sondern gleichzeitig auch der Genreporter aktiviert. Die Sensor-/Regulatorproteine in der Zelle erkennen sowohl ihre ursprüngliche DNA-Bindungsstelle als auch die neu eingebrachte, welche ja identisch sind. Die Reaktion des Bakteriums auf die chemische Verbindung ist für uns jetzt als Biolumineszenz messbar. Die Figuren 3 und 4 zeigen die durch Oktan angeregte Lichtabstrahlung eines Alkanreporterbakteriums [3].

Ein Blick in die nahe Zukunft

Unsere bisherigen Ergebnisse (siehe EAWAG Jahresbericht 1996) bestärken uns darin, dass Reporterbakterien nützliche und bedeutungsvolle Informationen über bioverfügbare Schadstoffkonzentrationen liefern können. Sie versetzen uns in die Lage, komplexere Fragen im Zusammenhang mit dem Abbau schlechtlöslicher oder sorbierter Verbindungen gezielt anzugehen. Es ist aber auch klar, dass unsere ersten vielversprechenden Versuche nur Teilerfolge sind, die viele biologische, technische und sogar gesellschaftliche Fragen aufwerfen. Es stellt sich z.B. die

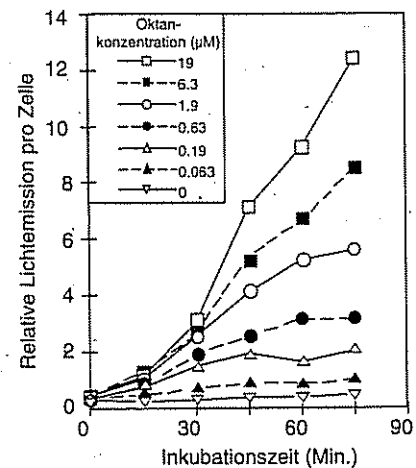
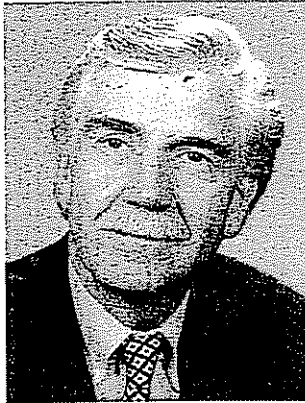


Fig. 4
Konzentrationsabhängige Lichtemission nach Zugabe von Oktan zum Reporterbakterium.

Frage, ob wir diese Reporterbakterien auch ausserhalb des Labors anwenden möchten. Schliesslich handelt es sich ja um Bakterien, in die gezielt fremdes Erbgut eingeschleust wurde. Solche Organismen dürfen im Labor verwendet werden, weil sie dort nach der Anwendung abgetötet werden und somit nicht in die Umwelt gelangen. Ihre Anwendung ausserhalb des Labors würde deshalb besondere technische Lösungen erfordern. Wir haben uns überlegt, dass man die Reporterbakterien auf der Spitze von lichtleitenden Glasfasern immobilisieren und ihr Entweichen in die zu untersuchenden Umweltproben durch schadstoffdurchlässige, aber bakteriendichte Membranen verhindern könnte. Das ausgestrahlte Licht könnte am anderen Ende des Lichtleiters mit einem handelsüblichen Luminometer gemessen werden. Liesse sich dieses verwirklichen, so wäre die Entwicklung einer einfach zu handhabenden, mobilen Analyse-methode für bioverfügbare Schadstoffkonzentrationen keine Utopie mehr.

- [1] R.S. Burlage, A.V. Palumbo, A. Heitzer, G. Saylor. Bioluminescent reporter bacteria detect contaminants in soil samples. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 45: 731-740, 1994.
- [2] S.M. Steinberg, E. J. Poziomek, W. H. Engelmann, K.R. Rogers. A review of environmental applications of bioluminescence measurements. *Chemosphere* 30: 2155-2197, 1995.
- [3] P. Sticher, M.C.M. Jaspers, K. Stremmler, H. Harms, J.R. van der Meer, A.J.B. Zehnder. Development and characterization of a whole cell bioluminescent sensor for bioavailable middle-chain alkanes in contaminated groundwater samples. Submitted to *Appl. Environ. Microbiol.*



James V. Ward

Neue Forschungsrichtungen in der Limnologie

James V. Ward

Die Abteilung für Limnologie erweitert ihren wissenschaftlichen Horizont durch die verstärkte Betonung der Fließgewässerökologie, durch den Einbezug der Grundwasserforschung, die Berücksichtigung der Ökologie der Uferbereiche und Feuchtgebiete und durch die Einbeziehung der ökologischen Genetik. Neu hinzugekommene Wissenschaftler ermöglichen unserer Abteilung die Erschließung neuer Forschungsrichtungen und die Untersuchungen komplexer Systeme.

Einführung

Die Limnologie ist eine multidisziplinäre Wissenschaft, welche Aspekte der Physik, Chemie, Geologie, und Biologie der Binnengewässer vereint (Fig. 1). Limnologische Forschungen in all diesen Bereichen werden von unterschiedlichen Abteilungen der EAWAG durchgeführt. In der Abteilung für Limnologie werden zwar ebenfalls physikalische, chemische und geologische Phänomene untersucht, der primäre Forschungsauftrag ist jedoch die biologische Limnologie. Ursprünglich aus der Seenforschung entstanden, umfasst heute die Limnologie auch Fließgewässer, Grundwasser und Feuchtgebiete [2].

In diesem Beitrag werden die neuen Forschungsschwerpunkte der Abteilung für Limnologie präsentiert und jene neuen Kollegen vorgestellt, die bei der Umsetzung dieser Schwerpunkte beteiligt sind. Fortschritte in der Limnologie erfordern Zusammenarbeit – und es gibt kaum Orte, die für eine transdisziplinäre limnologische Forschung geeigneter wären als die EAWAG. Die Abteilung für Limnologie kann hierbei als geeignete Plattform zur Integration von Wissen aus den verschiedenen Abteilungen dienen.

Porträt der Abteilung

Derzeit sind an der Abteilung für Limnologie 18 Akademiker,

10 technische Angestellte und 11 Doktoranden beschäftigt. Einige arbeiten in Teilzeit. Drei der akademischen Mitarbeiter haben gemeinsam mit ihren Technikern und Doktoranden ihren Arbeitsplatz in Kastanienbaum.

Unsere Forschung ist auf Organismen und ihre Ökologie, auf Genetik, Biogeographie und Evolution ausgerichtet. Da wir diese Untersuchungen in die allgemeine Umweltforschung integrieren, handelt es sich in vielen Bereichen der Limnologie um «klassische Ökologie». Dies erlaubt uns komplexe Themen wie z.B. Fragen zu Biodiversität, Populationsdynamik, Struktur von Lebensgemeinschaften, Sukzession, Konkurrenzphänomene und Verhaltensinteraktionen sowie Nahrungsnetze und trophische Kaskaden zu studieren. Es ermöglicht uns aber auch einen ganzheitlichen multidisziplinären Beitrag zur Lösung von Umweltproblemen zu leisten, z.B. zum Problemkreis bedrohter Arten oder zur Problematik der Zerstörung und des Zerfalls von Lebensräumen, zur Ökotoxikologie, Versauerung, Klimaveränderung sowie zur Sanierung von Seen und Flüssen.

Die Abteilung für Limnologie hat eine langjährige Tradition in der Untersuchung biologischer Prozesse im Pelagial grosser Schweizer Seen. Diese Forschung, die in Zusammenarbeit mit anderen Abteilungen der EAWAG durchgeführt wird, brachte der

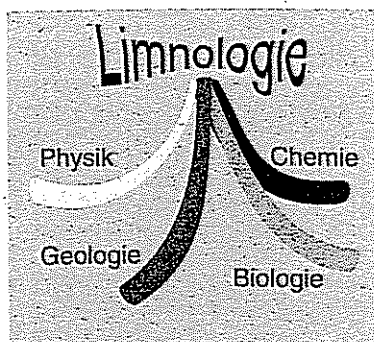


Fig. 1
Die multidisziplinäre Natur der Limnologie (verändert nach [1]).

Themen	Forschungsgebiete
Organismischer Ansatz	Alpine Limnologie
Fundierte Forschungskonzepte	Biodiversität
Hierarchischer/skalarer Ansatz	Rolle von Störungen
zeitlich-räumliche Perspektive	Gesetzmässigkeiten & Prozesse entlang Umweltgradienten
Störung als strukturierendes Agens	Metapopulationen
Konnektivität & Ökotope	Dynamik organischer Stoffe
<i>In Situ</i> /Feldarbeitsansatz – ergänzt durch Experimente und Modelle	Fluss- und Seensanierung
Ökosystem Management	Fliessgewässerbeurteilung
Erholungs-/Wiederherstellungsmechanismen der Biozönosen	Verhaltensökologie
	Interaktionen des Nahrungsnetzes
	Ökosystemresilienz
	Biologisch gesteuerte Stoffflüsse

Tab. 1
Zukunftsige Forschungsgebiete und Themen in der Abteilung Limnologie.

Schweiz grosse internationale Anerkennung auf dem Gebiet der Seeneutrophierung und -sanierung. Sie lieferte auch eine äusserst wertvolle Langzeitdatenbasis für gegenwärtig laufende und zukünftige Projekte, in welchen ökologische Interaktionen in pelagischen Nahrungsnetzen und in Planktongemeinschaften, Kohlenstoff- und Phosphorkreisläufe sowie der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Primärproduktion untersucht werden.

Neue Forschungsziele

Die neuen Kollegen in der Limnologie verstärken und erweitern unsere derzeitigen Forschungsgebiete. Sie bringen neue Forschungsrichtungen und Fachwissen ein und geben damit der Abteilung neue Perspektiven. Es erwartet uns eine spannende Zukunft, da zusätzliche Forschungsziele umgesetzt und neue Forschungsinitiativen verwirklicht werden können. Durch die neuen Wissenschaftler verfügt die Abteilung für Limnologie jetzt über Fachwissen in den folgenden Forschungsgebieten:

- Ökologie der Seen und Kleingewässer
- Ökologie der Fliessgewässer
- Grundwasserökologie
- Ökologie der Feucht- und Schwemmgebiete, und der Uferzonen von Seen und Flüssen
- ökologische Genetik

- Evolutionsbiologie
- Modellierung
- Ökotoxikologie.

Das eigentliche Ziel der Abteilung ist es, Grundlagen- und angewandte Forschung zu betreiben, die auf streng fundierten Konzepten beruht, die eine ganzheitliche Betrachtungsweise erlaubt, die unterschiedliche Raum- und Zeitdimensionen umfasst, und die somit zu einem besseren Verständnis von Gesetzmässigkeiten und Prozessabläufen in der Umwelt beiträgt (Tab. 1).

Neue Forschungsgebiete

Vier Forschungsinitiativen – sie befinden sich noch in den An-

fangsstadien – werden hier als Beispiele aus einer breiten Palette von geplanten sowie bereits laufenden Projekten in unserer Abteilung kurz vorgestellt.

Val Roseg – eine glaziale Überschwemmungsebene

Val Roseg (am Oberlauf des Inn bei Pontresina/St. Moritz gelegen) ist eine grössere Überschwemmungsebene im Vorfeld von Gletschern (Fig. 2). Die Vielfalt der Biotope in den stark verzweigten Bachsegmenten wird durch die unterschiedliche Herkunft des Wassers (Gletscher, Grundwasser und seitliche Zuflüsse) noch deutlich erhöht. Alpine Schwemmebenen reagieren sehr sensibel auf klimatische Veränderungen; über ihre Ökologie ist jedoch fast nichts bekannt. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die ökologische Bedeutung von Störungen, die Identifikation von Umweltgradienten, die Vernetzung zwischen unterschiedlichen Teillebensräumen und die zeitlich-räumlichen Aspekte der Biodiversität des Zoobenthos, der Grundwasserfauna und des Periphyton. Zusätzlich werden ökosystemare Prozesse wie Produktions- und Dekomposi-



Fig. 2
Val Roseg, eine glaziale Überschwemmungsebene.

Neue Kollegen



Mark O. Gessner

kommt vom Zentrum für Ökosystemforschung der Universität Kiel. Er promovierte 1991 an der Universität Freiburg i.Br. Er ist für seine Arbeiten über die Dynamik organischer Stoffe in aquatischen Systemen und für die quantitative Untersuchungen zur Rolle aquatischer Hyphomyceten (Pilze) in Abbauprozessen bekannt. Dr. Gessner

hat sich vor kurzem an der Universität Kiel habilitiert.

Beispiel einer neueren Publikation: Gessner, M.O. et al. 1996. A partial budget of primary organic carbon flows in the littoral zone of a hardwater lake. Aquatic Botany 55: 93-105.



Florian Malard

ist Postdoktorand. In seiner Dissertation an der Universität Lyon (1995) beschäftigte er sich mit der Biologie von Karstgewässern. Dr. Malard hat bereits mehrere Arbeiten über unterschiedliche Bereiche der Grundwasserökologie publiziert.

Beispiel einer neueren Publikation: Malard, F. et al. 1996. Developments in sampling the fauna of deep aquifers. Arch. Hydrobiol. (in press).



Christopher T. Robinson

ist ein vielfältig ausgebildeter Fließgewässer-Ökologe, der an der Idaho State University (1992) promovierte. Er arbeitete über Makroinvertebraten, Periphyton und Fische, über die ökologische Bedeutung von Störungen, Strukturen von Lebensgemeinschaften, die Kolonisationsdynamik, biologische Qualitätsbeurteilungen und Populationsgenetik. Dr. Robinson war an limnologischen Projekten in Russland und Lettland beteiligt.

Beispiel einer neueren Publikation: Minshall, G. W., C. T. Robinson & D. E. Lawrence. 1997. Immediate and mid-term responses of lotic ecosystems in Yellowstone National Park, USA, to wildfire. Can. J. Fish. Aquat. Sci. (im Druck).



Tom Gonser

war bisher an der Abteilung Fischereiwissenschaften der EAWAG. In seiner Dissertation, die von der Universität Freiburg aus durchgeführt wurde (1990), untersuchte er die Biologie und Ökologie chilenischer Eintagsfliegen (Ephemeroptera). Anschliessend erwarb Dr. Gonser während eines Postdoktorats an der «Flathead Lake Biological Station» in Montana, USA, umfangreiche Erfahrungen in Grundwasserökologie.

Beispiel einer neueren Publikation: Brunke, M. & T. Gonser. 1996. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. Freshwater Biology (in press).



Piet Spaak

studierte Ökologische Genetik/Evolutionsbiologie und kommt von einer postdoktoralen Anstellung am Max-Planck-Institut für Limnologie in Plön. In seiner Dissertation an der Universität Utrecht (1994) untersuchte er die Hybridisierung bei Daphnien. Dr. Spaak wird einen neuen Kurs über Ökologische Genetik aquatischer Organismen an der ETH anbieten.

Beispiel einer neueren Publikation: Spaak, P. & J.R. Hoekstra. 1995. Life history variation and the coexistence of a Daphnia hybrid with its parental species. Ecology 76:553-564.



Klement Tockner

war Postdoktorand an der Universität Wien und koordinierte dort ein Projekt zur Revitalisierung von Auen an der Donau. In seiner Dissertation (1993) beschäftigte er sich mit der Ökologie von Lebensgemeinschaften des Zoobenthos in den Uferzonen der Donau. Dr. Tockner ist an der ökologischen Vernetzung zwischen den Lebensräumen «Fließgewässer» und «Feuchtgebiet» interessiert, insbesondere an deren Bedeutung für die Biodiversität und die Transformation organischer Stoffe. Er bietet einen neuen Kurs an der ETH über die Ökologie der Feuchtgebiete an.

Beispiel einer neueren Publikation: Tockner, K. 1996. Colonization experiments for biomonitoring riparian communities of a large regulated river, the Danube (Austria). Arch. Hydrobiol. Suppl. 113: 433-442.

tionsvorgänge untersucht. Projektkoordinator: U. Uehlinger.

Fiume Tagliamento – Modell einer natürlichen alpinen Flusslandschaft

Dies ist der einzige Fluss im Alpenraum, der noch ein weitgehend natürliches Überschwemmungsverhalten und jene zeitlich-räumliche Dynamik aufweist, die für die Erhaltung der ökologischen Integrität von Fließgewässer-Ökosystemen notwendig sind [3]. In

Zusammenarbeit mit Professor Peter Edwards (Institut für Geobotanik, ETH) und Professor B. Rossaro (Universität von Milano) werden allgemeine Ökologische Modelle für Flusssysteme getestet und Gesetzmässigkeiten und Prozesse am Beispiel der aquatischen Fauna, der Ufervegetation und der Dynamik organischer Stoffe untersucht. Dieses Flusssystem ist besonders geeignet, Biodiversitätsmuster (Alpha-, Beta-, und

Gammadiversität) zu beschreiben und diejenigen Faktoren zu identifizieren, die diese Biodiversität bestimmen. Projektkoordinator: K. Tockner.

Ökologische Rolle von Totholz als Strukturelement in europäischen Fließgewässern

Totholz wird in Europa routinemässig aus Flüssen entfernt. Das hat für die Wasserqualität, die Flussmorphologie, die Lebens-

räume im und am Wasser und damit für die Integrität dieser Ökosysteme weitreichende Folgen [4]. Ein gemeinschaftliches Projekt mehrerer europäischer Länder wurde mit folgenden zwei Zielen entwickelt: Einschätzung des Wertes des Totholzes für die Wasserbewirtschaftung und die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse aus Nordamerika auf Europa.

Das Projekt wurde von den Professoren A. Gurnell und G. Petts initiiert (University of Birmingham, UK). Die Abteilung Limnologie (EAWAG) und das Institut für Geobotanik (ETH) sind die Schweizerischen Partner. Projektkoordinator (Schweiz): C. Robinson.

Fragmentierung alpiner Flusssysteme und ihre Folgen für die Biodiversität

Flussoberläufe sind durch die Zergliederung ihrer Lebensräume in zunehmendem Masse gefährdet [5, 6]. Die Folgen für die aquatische Biodiversität sind aber

weitgehend unbekannt. Berggipfel sind im ökologischen Sinne Inseln. Mit zunehmender Meereshöhe nimmt die Fläche der Habitate ab, zugleich nimmt die «Insularität» zu [7]. Ein Forschungsprojekt wird gegenwärtig entwickelt, um

- 1) die Fragmentierung der Gewässernetze in Einzugsgebieten des Hochgebirges zu erfassen
- 2) Zusammenhänge zwischen Biodiversitätsmuster und Lebensraumfragmentierung zu untersuchen
- 3) die genetische Struktur (Metapopulationsmuster) in einen

Zusammenhang mit der Biotopfragmentierung zu bringen, und um schlussendlich

- 4) Schutzmassnahmen zu entwickeln, welche die Gefährdung der Biodiversität in alpinen Einzugsgebieten möglichst reduzieren.
- Projektkoordinator: C. Robinson & P. Spaak.

Ich bedanke mich bei meinen Kollegen P. Bossard, R. Gächter, M. Gessner, T. Gonsler, F. Malard, C. Robinson, P. Spaak, K. Tockner und U. Uehlinger für die Vorschläge zu diesem Artikel.

- [1] Lewis, W.M., S.W. Chisholm, C.F. d'Elia, E.J. Fee, N.G. Hairston, J.E. Hobbie, G.E. Likens, S.T. Threlkeld & R.G. Wetzel. 1995. Challenges for limnology in the United States and Canada: An assessment of the discipline in the 1990's. *Bull. Am. Soc. Limnol. Oceanogr.* 4: 1-20.
- [2] Margalef, R. (ed.). 1994. *Limnology Now*. Elsevier, Amsterdam. 553 p.
- [3] Müller, N. 1995. River dynamics and floodplain vegetation and their alterations due to human impact. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 101: 477-512.
- [4] Gurnell, A.M., K.J. Gregory & G.E. Petts. 1995. The role of coarse woody debris in forest aquatic habitats: implications for management. *Aquatic Conservation* 5: 143-166
- [5] Zwick, P. 1992. Stream habitat fragmentation - a threat to biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 1: 80-97.
- [6] Dynesius, M. and C. Nilsson. 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science* 266: 753-762.
- [7] Ward, J.V. 1994. Ecology of alpine streams. *Freshwater Biology* 32: 277-294.

Otto-Jaag-Preis 1996

Für ihre Dissertationen wurde der Otto-Jaag-Preis zu gleichen Teilen Jörg Klausen (EAWAG) und Michael Gfeller (ETHZ/ITÖ) verliehen. In beiden Arbeiten wurden Transformationen von organischen Verbindungen in Gegenwart von mineralischen Festphasen untersucht.

Die Arbeit von Jörg Klausen trägt den Titel «Abiotic Redox Transformations of Aromatic Nitro and Amino Compounds in Suspensions of Soil Minerals: Laboratory Studies in Batch and Flow-Through Reactors». Aromatische Nitro- und Aminoverbindungen werden in grossen Mengen produziert und als chemische Zwischenprodukte, Pestizide oder Explosivstoffe eingesetzt. Auf-



Jörg Klausen

grund vielfältiger Verwendung und unsachgemässer Ablagerung in zahlreichen Munitionsdeponien, bzw. Fabrikationsstätten sind diese Verbindungen heute weitverbreitete Verunreinigungen in Grundwasser und Erdreich. Viele von ihnen, z.B. Trinitrotoluol (TNT) oder 3,4-Dichloroanilin,

sind äusserst resistent gegenüber biologischem Abbau. Unter bestimmten Redoxbedingungen im Untergrund werden sie jedoch mehr oder weniger leicht umgewandelt. So können Nitroaromaten zu den entsprechenden Aminoverbindungen reduziert werden, und Aniline unterliegen oxidativen Transformationen, die in der Regel zu einer Vielzahl von Produkten führen. Aus (öko)toxikologischer Sicht sind Redoxtransformationen solcher Verbindungen in vielen Fällen bedenklich, da sie zu äusserst giftigen Produkten führen können. Andererseits zeigen sie für moderne *in situ* Sanierungstechnologien interessante Perspektiven auf, da einige problematische Produkte durch solche Prozesse

immobilisiert oder aber besser abbaubar werden. In jedem Fall sind fundierte Kenntnisse über die relevanten natürlichen Redoxpartner und die entsprechenden Reaktionsmechanismen für eine Beurteilung solcher Prozesse unerlässlich.

Der erste Teil der Arbeit beschreibt Batchexperimente zur Untersuchung der Reduktionskinetik von monosubstituierten Nitrobenzolen durch adsorbiertes Fe(II) in Suspensionen einiger häufiger Bodenminerale. Die

Ergebnisse demonstrieren, dass Fe(II), das an Eisen(hydr)oxide oder entsprechende Oberflächenbeschichtungen adsorbiert ist, bei der reduktiven Umwandlung organischer Schadstoffe im Untergrund eine wichtige Rolle spielen kann. Die Resultate tragen auch bei zum besseren Verständnis jener Redoxprozesse, die sich beim technischen Einsatz von elementarem Eisen zur reduktiven Grundwasserbehandlung abspielen.

Im zweiten Teil wurde die Oxidationskinetik von monosubsti-

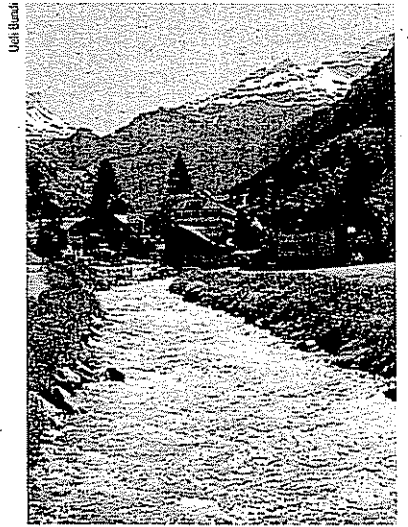
tuieren Anilinen durch MnO_2 in Batch- und gut durchmischten Durchflussreaktoren erforscht, besonders im Hinblick auf das Langzeitverhalten derartiger heterogener Systeme. Die Ergebnisse zeigen, dass MnO_2 in natürlichen Systemen, die nur einen geringen Gehalt an gelöstem organischem Material und höherwertigen Metallkationen aufweisen, eine bedeutende Rolle in der oxidativen Umwandlung organischer Schadstoffe spielen kann.

Anwendung der EAWAG-Konzepte zur Fließgewässerbewertung

An der EAWAG werden seit 1991 interdisziplinäre Ansätze zur Bewertung von Fließgewässern erarbeitet. Darüber wurde in Nr. 39 der EAWAG news (1995) berichtet. Das 1994 publizierte «Konzept für die Bewertung und Entwicklung von Bächen und Bachsystemen im Kanton Zürich» umfasst

Methoden zur morphologischen, biologischen und chemischen Beurteilung sowie einen Leitfaden für die künftige naturnahe Gestaltung der Fließgewässer. 1995 erschien der Entwurf einer «Anleitung zur Beurteilung der schweizerischen Fließgewässer» mit Methoden zur Ökomorphologie, Hydrologie und Fischbiologie.

Die an der EAWAG in Zusammenarbeit mit andern wissenschaftlichen Gruppen und VertreterInnen von Amtsstellen entwickelten Methoden wurden im Rahmen von Diplomarbeiten an der ETH Zürich und der Universität Innsbruck getestet. Dabei wurden und werden sie auch an die Gegebenheiten anderer geographischer Regionen (z.B. Luxemburg) und grosser Flüsse (Alpenrhein) angepasst. Auf Grundlage der Methode zur ökomorphologischen Bewertung werden zur Zeit im österreichischen Bundesland Tirol alle mittelgrossen und grossen Zuflüsse des Inns aufgenommen. Auch im italienischen Südtirol wird eine umfangreiche ökomorphologische Kartierung nach der EAWAG-Methode durchgeführt.



Verbauer Vorder Schächen bei Unterschächen (Uri/CH).

Tag der offenen Tür in Kastanienbaum

Am Freitag, 13. Juni von 16–20 Uhr und am Samstag, 14. Juni von 9–17 Uhr öffnet das Forschungszentrum für Limnologie in Kastanienbaum seine Pforten.

Über das geheime Leben der Seen, das kostbare Gut Trinkwasser und die Bewohner von Bächen und Grundwässern informieren drei Rundgänge.

Alle Interessierten sind herzlich eingeladen, am Tag der offenen Tür teilzunehmen.

Theresa Büsser

In Zusammenarbeit mit den Bundesämtern für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Wasserwirtschaft (BWW) sowie verschiedenen Kantonen werden die genannten Methoden nun für eine gesamtschweizerische Anwendung weiterentwickelt. Noch 1997 sollen das Modulkonzept für die gesamtheitliche Bewertung und die Methode für die ökomorphologische Bewertung der Fließgewässer veröffentlicht werden.

M. Hütte, U. Bünzi

Vladimir Krejci und Hans Rudolf Wasmer

Zusammenarbeit mit Osteuropa: Erfahrungen und Absichten

Die Änderung der politischen Verhältnisse in Osteuropa 1989 führte u.a. zu vermehrten fachlichen Kontakten zwischen dem «Westen» und dem «Osten», so auch zwischen der EAWAG und Tschechischen Technischen Universität in Prag (Ceske Vysoke Ucení Technické Praha, im folgenden als TUP bezeichnet). In 1993 wurde die Diskussion über eine systematische Zusammenarbeit begonnen.

Ziel der geplanten Zusammenarbeit war der «Aufbau einer Arbeitsgruppe an der Bauingenieur-Fakultät der TUP, die im Unterricht und in der Forschung auf dem Gebiete der «Wasserwirtschaftliche Systeme in Siedlungsgebieten» moderne Hochschulaufgaben wahrnehmen kann, und die sowohl national als auch international anerkannt wird.»

Die wichtigsten Gründe für die Zusammenarbeit waren:

- gemeinsames Interesse an Fragen der nachhaltigen Entwicklung in der Siedlungswasserwirtschaft (SWW),
- grosser Bedarf an Investitionen sowohl in der Tschechischen Republik (Erneuerungen und Erstinvestitionen) als auch in der Schweiz (v.a. Erneuerungen),
- begrenzte Anzahl von Fachleuten in beiden Ländern, die sich mit neuen Konzepten der SWW befassen,
- international bedeutende Rolle der EAWAG auf diesem Fachgebiet,
- bereits existierende wissenschaftliche Kontakte zwischen den beiden Institutionen,
- Bereitschaft der Schweizer Regierung, die Zusammenarbeit mit osteuropäischen Ländern zu unterstützen.

Die vorgesehene Zusammenarbeit sollte 7 bis 9 Jahre, beginnend ab 1995 dauern.

Der Kostenbeitrag der Schweizer Seite (Salär des Projektleiters, Materialkosten und Kosten für den Austausch von Studenten

und Doktoranden) für die ersten drei Jahre (1995–1997) wurde auf 850'000.– SFr. geschätzt. Die TUP deckt die Saläre der tschechischen Mitarbeiter, stellt die Infrastruktur zur Verfügung und deckt teilweise auch die Betriebskosten. Weitere finanzielle Mittel für die Bearbeitung einer regionalen Forschungsstudie wurden vom tschechischen Umweltministerium beantragt und erhalten.

Hochschulaktivitäten in der Tschechischen Republik im Bereich der SWW

Die SWW hat in der Tschechischen Republik eine lange Tradition. Bereits in 1897 wurde an der TUP Professur für «Kulturtechnik, Wasserversorgung und Siedlungsentwässerung» gegründet. Gegen-

wärtig wird das Studium der Wasserwirtschaft von mehreren Hochschulen angeboten. Die Anzahl der Absolventen liegt etwa bei 200 pro Jahr, etwa ein Drittel davon wählt die Vertiefung im Bereiche der SWW.

Viele der Hochschulabsolventen arbeiten jedoch nicht im gelerntem Beruf, obwohl es genug Arbeitsplätze gibt. Banken und Informatik-Firmen bieten den jungen Ingenieuren neben wesentlich grösseren Salären auch attraktive Perspektiven, sodass in der SWW vor allem die jungen und die besten fehlen.

Das akademische Personal der TUP ist vorwiegend in der Lehre engagiert. Daneben werden gelegentliche Beratungstätigkeiten und kleinere Forschungsprojekte durchgeführt. Auch der administrative Aufwand ist belastend und unnötig gross. Für systematische wissenschaftliche Arbeit fehlt die Zeit und häufig auch die zeitgemässe Infrastruktur. Der wichtigste Grund für diese Situation liegt in der fast fünfzig Jahre praktizierten Trennung der Lehre und der Forschung. Die Leitung der TUP ist bemüht die Forschung an der Hochschule systematisch zu unterstützen, dabei muss sie jedoch mit

Phase der Zusammenarbeit	Zeit	Inhalt
Machbarkeitsstudie	1994	<ul style="list-style-type: none"> • Prüfung der Voraussetzungen für die Realisierung einer mittel- bis längerfristigeren Zusammenarbeit und • Vorbereitung eines Forschungsprojektes im Bereich der integrierten Siedlungswasserwirtschaft.
I. Etappe	1995–1997	<ul style="list-style-type: none"> • Gründung und Konsolidierung der Arbeitsgruppe. • Bearbeitung eines Forschungsprojektes (Regionale Studie) • Einbezug der Studenten und Doktoranden in die Bearbeitung der Studie • Transfer der Resultate in den Unterricht • Transfer der Resultate in die Praxis
II. Etappe	ab 1997	wird im 1997 festgelegt

Tab. 1
Phasen der Zusammenarbeit.

Abteilungen

verschiedensten Schwierigkeiten und Widerstand zu kämpfen. Deswegen wird die Zusammenarbeit der EAWAG mit den wasserwirtschaftlichen Instituten der TUP von der Leitung der TUP begrüßt.

Unterstützung der Forschung an der TUP durch die EAWAG

Die Zusammenarbeit mit der EAWAG bietet v.a. die Gelegenheit zur vermehrten wissenschaftlichen Aktivität der tschechischen Mitarbeiter an. Im Rahmen einer regionalen Forschungsstudie werden auch Diplomarbeiten und Dissertationen angeboten. Die Konzentration der Forschungsaktivitäten in eine geographischen Region erleichtert die Erhebung von Unterlagen, ermöglicht ihre mehrfache Verwendung und unterstützt die Kommunikation zwischen einzelnen Beteiligten. Dabei sollen die «integralen» und «interdisziplinären» Aspekte hervorgehoben werden. Inhaltlich soll der Schwerpunkt im Untersuchung von zukünftigen Strategien der Siedlungsentwässerung, mit einer allmählicher Erweiterung in den Bereich Trinkwasserversorgung, Gewässer- und Grundwasserschutz liegen.

In der Bilanz der Zusammenarbeit nach den ersten zwei Jahren überwiegen die Erfolge, die Vorstellungen der EAWAG sind allerdings zur Zeit (noch) nicht ganz erfüllt worden.

Aufbau einer Arbeitsgruppe

Die Bildung und Entwicklung einer Arbeitsgruppe «Wasserwirtschaftliche Systeme in Siedlungsgebieten» hat vielversprechend begonnen. Für dieses Thema haben sich mehrere jüngere Assistenten interessiert. Sie haben auch die Studierenden motiviert, was zum Interesse an Diplomarbeiten und zur Aufnahme von mehreren

Doktoranden führte. Gleichzeitig wurden auch internationalen Kontakte gesucht. Allmählich hat sich im Institut für SWW eine «Gruppe Siedlungshydrologie» etabliert, die zwar keinen offiziellen Status hatte, die jedoch als Team funktionierte, als Team sich präsentierte und zunehmend auch so intern und extern verstanden wurde. Den jungen und dynamischen Mitarbeitern dieser Gruppe ist es jedoch nicht gelungen die älteren und etablierten Institutsmitarbeiter ins Team zu integrieren oder diese mindestens für die Unterstützung dieses Teams zu gewinnen. Das zunehmend gespannte Arbeitsklima und die attraktiven Anstellungsangebote der Privatwirtschaft haben Kündigungen von mehreren jungen Mitarbeitern bewirkt. Heute existiert diese Gruppe nur teilweise und sie ist nicht mehr mit Institut für SWW organisatorisch verbunden. Die restlichen Mitarbeiter dieser Gruppe wurden in einen anderen Bereich der TUP versetzt, wo sie in ihren Forschungsaktivitäten massgebend von der EAWAG unterstützt werden. Anfangs 1997 wurde der Leitung der THP ein Vorschlag für Bildung eines «Laboratory of ecological risks of urban drainage» unterbreitet. Dieser Vorschlag basiert auf einem Programm des tschechischen Bildungsministerium, das gezielt junge Akademiker und ihre wissenschaftliche Aktivitäten an den Hochschulen unterstützt. Der erwähnte Vorschlag beruft sich explizit auf die Zusammenarbeit mit der EAWAG und strebt praktisch die gleichen Ziele an. Dieser Vorschlag wurde vom wissenschaftlichen Rat der TUP dem Bildungsministerium zur Realisierung empfohlen.

Transfer der Forschungsergebnisse in den Unterricht

Der Transfer der Forschungsergebnisse in den Unterricht war

zunächst einfach und erfolgreich. Durch die Ausscheidung der «Arbeitsgruppe Siedlungshydrologie» aus dem Institut für SWW ist der Kontakt mit den Studierenden schwieriger geworden, es werden jedoch nach wie vor moderne und anspruchsvolle Diplomarbeiten und Dissertationen im Rahmen der Zusammenarbeit mit der EAWAG angeboten und auch bearbeitet.

Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis

Der Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis ist erfolgreich. Es handelt sich um bedeutende und möglicherweise auch wegweisende Beiträge, wie z.B.: Anwendung von modernen Berechnungsmethoden, Bearbeitung von Generellen Entwässerungsplänen, Abwassersanierung in ländlichen Regionen, Energieoptimierung bei der Abwasserreinigung, etc.

Die Zusammenarbeit mit der Praxis ist für die jungen Wissenschaftler lehrreich und motivierend. Sie beansprucht jedoch viel Zeit, was die eigentlichen Hochschulaufgaben und die Arbeitsqualität generell gefährden könnte. Die Kontakte mit der Praxis unterstützen jedoch den guten Ruf der Hochschule, was momentan wichtig ist.

Austausch von Studierenden, Doktoranden und Post-Doktoranden.

Dieser Austausch zwischen der EAWAG und der TUP findet nur sehr begrenzt statt:

- Mehrere Studenten von der TUP konnten an der EAWAG in Jahren 1995 und 1996 ein Praktikum, z.T. auch ihre Diplomarbeit bearbeiten. Diese Studenten konnten sowohl fachlich als auch sprachlich vom Aufenthalt an der EAWAG stark profitieren.

Siedlungswasserwirtschaft in der Tschechischen Republik

Über 85% der Einwohner der Tschechischen Republik sind an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen. Der mittlere spezifische Trinkwasserbedarf in Haushaltungen sank zwischen 1990 und 1994 (als Folge der massiven Erhöhung der Wasserpreise von 0.60 Kč/m³ auf über 10 Kč/m³) von 174 l/E-Tag auf 129 l/E-Tag. Ähnlich sank auch der Wasserverbrauch in der Industrie und Landwirtschaft. Der Grund liegt einerseits in der neuen Preispolitik, bei der Industrie jedoch auch in der Reduktion der Fabrikation und im vermehrt haushalterischen Umgang mit Trinkwasser.

Der Anschlussgrad an eine öffentliche Kanalisation (meist mit einer mechanisch-biologischen Kläranlage) beträgt zurzeit ca. 73%. Der Anschlussgrad und der Ausbau von Kläranlagen wächst ständig, v.a. im Einzugsgebiet der Elbe (z.T. als Folge der deutsch-tschechischen Zusammenarbeit im Rahmen des «Projektes Elbe»).

Der bauliche Zustand der Wasser- und Abwasserleitungen und der älteren Wasserversorgungs- und Abwasserreinigungsanlagen ist schlecht (z.B. die Verluste in den Transportleitungen für Trinkwasserversorgung betragen im Jahre 1994 ca. 280 Mio m³/Jahr, d.h. ca. 29% der Trinkwasserproduktion). Die Erneuerungskosten für diese Anlagen werden sowohl vom Staat als auch von den Gemeinden nicht kurz- und mittelfristig selber aufgebracht werden können, sodass andere Quellen der Finanzierung (Banken, etc.) gesucht werden müssen.

• Leider haben bisher keine Doktoranden von der TUP den möglichen Studienaufenthalt an der EAWAG genutzt, obwohl dieser in mehreren Fällen angeboten wurde. Der Grund liegt v.a. in der kleinen Anzahl der Doktoranden. Daneben sind die wenigen, die momentan an der TUP im Bereich der SWW ihre Dissertation bearbeiten, offensichtlich nicht bereit, einen Teil ihrer Dissertation im Ausland zu bearbeiten. Die Gründe variieren von familiären Gründen, über Nebenerwerbsaktivitäten bis zu Bedenken über mögliche Blamage, sprachliche Schwierigkeiten und Bequemlichkeit. Die inzwischen bekannten fachlichen Ansprüche, hohe Arbeitsintensität und die Betonung der wissenschaftlich relevanten Forschung an der EAWAG im Vergleich zu einer relativ anspruchslosen, schnell realisierbaren und ausgesprochen praxisorientierten Dissertation an der TUP motiviert die Prager Studenten (mindestens vorläufig) zu Bearbeitung einer Dissertation in der Schweiz zu wenig.

Was haben wir gelernt ?

Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Zusammenarbeit muss gut vorbereitet werden und die Kenntnisse der lokalen Verhältnisse sind von grossem Vorteil.
- Die Struktur der EAWAG und ihr Aufgabenbereich ist für die Partner aus den mittel- und osteuropäischen Ländern ungewöhnlich und deswegen haben sie Schwierigkeiten die EAWAG richtig einzuschätzen.
- Die Bearbeitung eines konkreten Projektes (z.B. einer Fallstudie) bietet die beste Information über das Potential der Partnerinstitute und dessen einzelnen Mitarbeiter.
- Die Konsolidierung der politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse im Land unterstützt auch

die Durchführung eines Zusammenarbeitsprojektes. Erfolgreiche (Privat-)Firmen spüren allmählich die Defizite in der Aus- und Weiterbildung und beginnen, ihr Interesse am Niveau der Ausbildung und an weiteren Aktivitäten der Hochschulmitarbeiter zu manifestieren.

• Heute gibt es auch im Bereich der SWW erfolgreiche Privatfirmen, die gute Saläre und attraktive Berufsperspektiven jungen Fachleuten anbieten. Diese Firmen «saugen» jedoch auch die besten Leute aus dem Hochschulbereich ab. Dadurch wird Bildung eines hochqualifizierten akademischen Nachwuchses (potentielle Professoren) erschwert.

• Am Anfang der Zusammenarbeit schien das Problem der Finanzen das wichtigste Problem zu sein. Die materielle Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeit in der Tschechischen Republik ist zwar nicht genügend, nach bisherigen Erfahrungen mit unserem Projekt scheint jedoch nicht nur das Geld, sondern auch die Einstellung der Dozenten zu modernen Hochschulaufgaben das ebenfalls grosse Problem zu sein. Der Stand des Wissens, Bereitschaft Neues zu lernen und zu akzeptieren, Verantwortung und vertretbares Risiko zu übernehmen sowie die professionelle Einstellung (nur

qualitativ hochstehende Arbeit zu leisten und zu akzeptieren) ist mindestens das gleiche Problem wie die Finanzen.

Künftige Absichten

Der Vertrag über die erste Phase der Zusammenarbeit geht im Jahr 1997 zu Ende. Nach der Beurteilung des Projekts (durch die EAWAG-Direktion und den Vertreter des ETH-Rates) und nach Verhandlungen im Januar 1997 in Prag mit Vertretern der TUP, der Privatwirtschaft, der staatlichen Forschung und der Politik können vorläufige Folgerungen formuliert werden:

- Die Zusammenarbeit zwischen der EAWAG und der TUP hat einen bedeutenden Einfluss für die weitere Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft in der Tschechischen Republik. Der positive Einfluss des Projektes ist nicht nur in der Hochschule, aber auch ausserhalb deutlich zu spüren. Dies haben auch namhafte Vertreter der Politik, der Wirtschaft und auch der Wissenschaft ausserhalb der Hochschule bestätigt.
- Die Zusammenarbeit soll auch nach 1997 weiter geführt werden. Die Form und die Organisation der Zusammenarbeit soll jedoch überprüft und im Laufe 1997 neu formuliert werden.

Alistair Kerr

Chemische Reaktionen in der Atmosphäre – ein Rückblick und ein Blick in die Zukunft

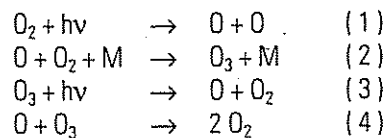
Einleitung

Die Atmosphäre der Erde kann aufgrund des Temperaturverlaufs in verschiedene Schichten eingeteilt werden. Die unterste Schicht, die Troposphäre, beginnt an der Erdoberfläche und reicht bis in eine Höhe von 10–15 km. Oberhalb der Troposphäre erstreckt sich die Stratosphäre bis in eine Höhe von etwa 50 km. Da der Austausch von Spurengasen zwischen diesen beiden tiefsten Schichten nur durch langsame Transportprozesse stattfindet, während die Mischung innerhalb der Troposphäre demgegenüber schnell erfolgt, werden die chemischen Abläufe in diesen Schichten oft getrennt betrachtet.

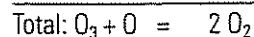
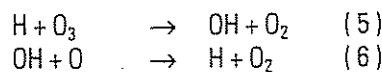
Stratosphärische Chemie

Das anfängliche Interesse an den chemischen Reaktionen in der Atmosphäre galt hauptsächlich der

Stratosphäre. Dazu wurde 1929 in Paris die erste internationale Ozonkonferenz abgehalten. An dieser Konferenz präsentierte Dobson die ersten Resultate seiner ausgedehnten Ozonmessungen. Chapman, der dieser Veranstaltung beiwohnte, präsentierte im darauffolgenden Jahr die erste photochemische Theorie der stratosphärischen Ozonbildung [1, 2], basierend auf vier Reaktionen:

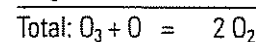
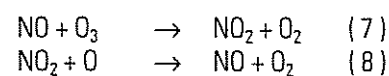


Messungen von Geschwindigkeitskonstanten in den 50er Jahren zeigten, dass die Reaktion (4) viel langsamer ist, als zu Zeiten Chapmans angenommen worden war, und dass daher die aus diesem Reaktionsschema errechneten Ozonkonzentrationen höher sind als die tatsächlich in der Atmosphäre beobachteten Konzentrationen. Diese Diskrepanz führte Hunt [3] zur Annahme, dass zusätzliche zyklische oder katalytische Reaktionen für das «fehlende» Ozon verantwortlich sein müssten. Er ergänzte die langsame Reaktion (4) durch Reaktionen von HO_x-Radikalen (H, HO, HO₂), die ursprünglich von Bates und Nicolet [4] formuliert worden waren. Diese Erweiterung enthielt beispielsweise folgenden katalytischen Ozonabbaumechanismus:

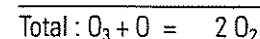
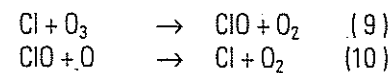


In den frühen 70er Jahren wurde die Theorie der stratosphärischen Ozonbildung von Crutzen [5] durch die Einführung zyklischer und katalytischer Reaktionen von Stickoxiden (NO und NO₂) erweitert. Johnston [6] warnte zur selben Zeit, dass Stickoxide, die

von Überschallflugzeugen direkt in die Stratosphäre emittiert werden, zu einem signifikanten Ozonabbau in der Stratosphäre führen könnten und dies zu einer intensiven ultravioletten Einstrahlung auf die Erdoberfläche führen würde. Daraus würden negative Folgen für die Lebewesen auf der Erde folgen.



Im Jahre 1974 zeigte es sich, dass neben den Stickoxiden auch Chloratome, die durch den photolytischen Abbau von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) entstehen, zu einem erheblichen Abbau des stratosphärischen Ozons über einen katalytischen Prozess (9,10) führen können. Molina und Rowland [7] erkannten als erste die Tragweite dieses Problems.



Die FCKW-Konzentrationen in der Atmosphäre erhöhten sich schnell, und man erkannte bald, dass es aufgrund der langen atmosphärischen Lebenszeiten dieser Stoffe, unmöglich ist, die negativen Auswirkungen der FCKW innert nützlicher Frist unter Kontrolle zu bekommen. Daraus erwuchs das Bedürfnis mittels mathematischer Modelle das Verhalten der Ozonschicht jetzt und in der Zukunft zu simulieren und vorauszusagen.

In den vergangenen 20 Jahren wurden viele Anstrengungen unternommen, solche Modelle zu entwickeln. Die anfänglichen eindimensionalen (Höhe) Transportmodelle wurden durch komplexere zweidimensionale (Höhe, geographische Breite) oder dreidimensionale (Höhe, geographische Breite



Am Abschiedsfest im Sommer 1996 erschien der gebürtige Schotte im Kilt, das er in seinem Heimatland wieder vermehrt an festlichen Anlässen tragen können wird, in den Händen ein Geschenk in Form eines grossen Thermometers.

Rücktritt von Professor Alistair Kerr

Ende Sommersemester 1996 ist Professor Alistair Kerr von seinen Funktionen an der EAWAG und an der ETH Zürich zurückgetreten. Alistair Kerr hat in Edinburgh und Birmingham Chemie studiert. Nach einer längeren Tätigkeit in Wales kehrte er als



uhnr: Konrad Stemmler, Alistair Kerr, Stephan Seefeld, Gerrit Locke und Wolfgang Mengon.

Professor für physikalische Chemie an die Universität Birmingham zurück und beschäftigte sich intensiv mit chemischer Kinetik in der Gasphase, die er in starkem Masse als Grundlage für die Atmosphärenchemie benutzte. Letzteres Gebiet pflegte er auch in mehreren Aufenthalten als Gastwissenschaftler in führenden amerikanischen Forschungsinstituten. Im Jahre 1989 wechselte er an die EAWAG, wo er eine Forschungsgruppe für Reaktionskinetik in der Gasphase leitete. An der ETH Zürich unterrichtete er das Fach Atmosphärenchemie an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften. In seinem Wirkungskreis in Dübendorf und Zürich war der besonnene und fachlich äusserst kompetente Alistair Kerr ein beliebter und allseits sehr anerkannter Kollege. Von besonderem Genus waren seine didaktisch ausgezeichneten Vorträge und Vorlesungen. Der ETH-Rat verlieh ihm 1994 den Titel eines Professors. Nach seinem Rücktritt in der Schweiz kehrte er nach Birmingham zurück und übernahm unter anderem die Aufgabe eines Mitglieds des Editorial Boards der Zeitschrift *Environmental Science and Technology* der amerikanischen chemischen Gesellschaft.

Wir wünschen ihm für die Zukunft gute Gesundheit und noch eine lange aktive Zeit.
Walter Giger

und Länge) Modelle abgelöst, die mehr als 200 elementare Reaktionen miteinbezogen. Die Qualität dieser Modelle und die der zugrundeliegenden chemisch-kinetischen Daten wurden periodisch zusammengefasst und kritisch bewertet, um wissenschaftlich hochwertige Ergebnisse zu erhalten. Zu diesem Zweck wurde 1977 ein internationales Expertengremium, bestehend aus Photochemikern und Kinetikern; gegründet, welches die erforderlichen Daten für stratosphärische Modelle aufarbeiten sollte. Diese IUPAC Kommission wird zur Zeit von Prof. J.A. Kerr geleitet und publizierte während seiner Zeit an der EAWAG zwei grössere Datenevaluationen [8, 9].

Grosses Aufsehen erregten 1985 Publikationen von Arbeiten über die Verringerung des Gesamt-ozongehalt über dem Südpol während des antarktischen Frühlings. Für dieses sich alljährlich wiederholende Ereignis bürgerte sich der Name «antarktisches Ozonloch» ein.

Niemand hatte diese antarktische Ozonzerstörung vorausgesagt, weil zur Umwandlung der emittierten FCKW in Chlorradikale kurzweilige Ultraviolettstrahlung notwendig ist, die zu dieser Jahreszeit über dem Südpol nur im geringen Ausmass vorhanden ist. Die Entdeckung des «Ozonlochs» löste rege internatio-

nale Forschungstätigkeit aus, sowohl auf dem Gebiet der Kinetik als auch bei den Feldstudien. Es zeigte sich bald, dass bisher unberücksichtigte chemische Prozesse bei der Ausbildung des «Ozonlochs» eine Rolle spielen. Diese Prozesse beinhalten heterogene Reaktionen an den Oberflächen von stratosphärischen Wolken, die sich über dem Südpol aus kondensiertem Wasser und Salpetersäure bilden können. Diese Reaktionen führen zur Umwandlung von unreaktiven Chlorverbindungen in eine katalytisch aktive Form. Die Forschung konzentrierte sich im Folgenden auf die Chlorchemie, da erkannt worden war, dass chlorhaltigen Stoffen die bedeutendste Rolle in der Zerstörung des stratosphärischen Ozons zukommt. Dies führten zu grossen Anstrengungen, um die langlebigen FCKW durch ähnliche Stoffe zu ersetzen, die in der Atmosphäre schneller abgebaut werden, zum Beispiel durch Reaktion mit OH Radikalen in der Troposphäre. Die atmosphärenchemische Forschung erreichte 1995 einen Höhepunkt, als Crutzen, Molina und Rowland für ihre Arbeiten über Stratosphärenchemie mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt wurden. Ihre Arbeiten lieferten wichtige Grundlagen für die Erforschung der Rolle von Chlorverbindungen bei der Zerstörung des stratosphä-

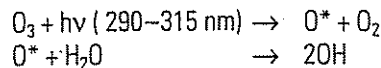
rischen Ozons und haben einen wesentlichen Anteil daran gehabt, dass das stratosphärische Ozonproblem durch das Protokoll von Montreal und dessen nachfolgenden Verschärfungen einer einzigartigen globalen Lösung zugeführt wird.

Troposphärische Chemie

Das Phänomen des photochemischen Sommersmogs wurde erstmals in den späten 40er Jahren in Los Angeles beobachtet. Auswirkungen wie Pflanzenschädigungen, Augenreizungen und reduzierte Sichtweite waren der Anlass für viele Laborstudien über das Verhalten von Substanzen unter atmosphärenähnlichen Bedingungen. Haagen-Smit und seine Mitarbeiter [10, 11] vom California Institute of Technology in Pasadena konnten mit ihren Laborstudien als erste zeigen, dass Ozon bei der Ultraviolett-Bestrahlung von kohlenwasserstoff- und stickoxidhaltiger Luft entsteht und erkannten somit die photochemische Natur des Problems.

1961 beschrieb Leighton in seinem klassischen Buch [12]. die Anwendung der Prinzipien der physikalischen Chemie auf die Problematik der photochemischen Luftverschmutzung. Ein bedeutender Durchbruch im Verständnis des Sommersmogs passierte

1971, als Levy [13] folgerete, dass bedeutende Konzentrationen von OH- und HO₂-Radikalen in der sonnendurchfluteten Atmosphäre gebildet werden. Die OH-Radikale stellen die treibende Kraft im Abbau vieler flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) in der Troposphäre dar. Die OH-Radikale werden durch die Photolyse des Hintergrundozons und der darauf folgenden Reaktion des entstandenen angeregten Sauerstoffatoms (O*) mit dem atmosphärischen Wasser gebildet:

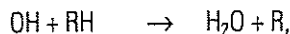


Aktivitäten von Alistair Kerr

Der Autor selbst startete seine Tätigkeit auf dem Gebiet der Atmosphärenchemie im Jahre 1970, als er während dreier aufeinanderfolgenden Jahre mit Jack Calvert an der Ohio State University arbeitete. Hier entwickelte er den ersten umfassenden Mechanismus für die photochemische Oxidantienbildung [14].

Der detaillierte Mechanismus des Abbaus der VOC ist komplex und basiert auf hunderten von elementaren Gasphasenreaktionen. Für ein Verständnis der Vorgänge sind Labormessungen von Geschwindigkeitskonstanten und Produkten notwendig.

Die grundlegenden mechanistischen Schritte bestehen aus der Abstraktion eines Wasserstoffatoms von einem VOC (RH) durch ein OH-Radikal:

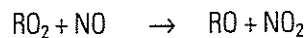


gefolgt von der raschen Oxidation des entstandenen Alkylradikals (R) zum weniger reaktiven Alkylperoxyradikal (RO₂) durch Anlagerung von Luftsauerstoff:

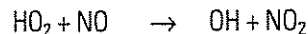


Die RO₂-Radikale reagieren in verschmutzter Atmosphäre rasch mit NO, wobei sie in die entsprechen-

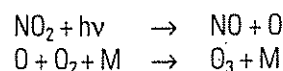
den Alkoxyradikale (RO) umgewandelt werden:



Diese Reaktion zusammen mit der analogen Reaktion von HO₂



konvertieren NO zu NO₂, was über folgende Sequenz zur Produktion von Ozon führt:



Die Alkoxyradikale, die durch die obige Reaktionssequenz produziert werden, können in der Atmosphäre eine Vielzahl von Reaktionen eingehen, die in der Regel zur Bildung von Carbonylverbindungen wie Aldehyden und Ketonen führen. Einige dieser Produkte werden im Verlauf ihrer atmosphärischen Weiteroxidation zu Peroxyacetylnitrat (PAN, CH₃CO₂NO₂) konvertiert, einem stark Augenreizenden Photooxidant.

Seit den 70er Jahren wurden Laborstudien zu einer Vielzahl organischer Verbindungen, die man in der Atmosphäre findet, gemacht. So ergab sich ein stetiger Fortschritt im Detailverständnis der chemischen Reaktionen. Jede Klasse von Verbindungen (Alkane, Alkene, Aromaten, Alkohole, Ether, Aldehyde, Ketone etc.) erfordert eigene ausführliche Untersuchungen über die der OH-Radikal initiierten Oxidationsreaktionen und deren Produkte. Die Atmosphärenchemiegruppe der EAWAG führte in den letzten sieben Jahren eine Anzahl solcher Untersuchungen durch, wobei sie durch die einzigartige analytisch-chemische Erfahrung und Möglichkeiten der EAWAG unterstützt wurde. Beachtenswerte Ergebnisse der Gruppe waren

- i) die erstmalige Beobachtung von Hydroxycarbonylen, die durch Isomerisationsreaktionen von Alkoxyradikalen unter

atmosphärischen Bedingungen produziert werden.

- ii) detaillierte Aufklärungen von Abbaumechanismen etherartiger Verbindungen,
 - iii) die Durchführung von erweiterten und präziseren Messungen der PAN-Bildungskinetik.
- Solche kinetischen mechanistischen Studien liefern die Grundlagen für Computermodelle, die das Oxidantienbildungspotential der einzelnen VOC berechnen können. Sie dienen somit der Ausarbeitung wissenschaftlich fundierter Emissions-Kontrollstrategien.

Alle obigen Überlegungen beziehen sich auf Gasphasenreaktionen. In der realen Atmosphäre spielen aber auch andere Prozesse eine Rolle, so zum Beispiel Flüssigphasenreaktionen oder Reaktionen an der Oberfläche von Festkörpern. Letztere sind besonders wichtig bei der Aerosolbildung und bei Prozessen, die zur Beeinträchtigung der Sichtweite führen. Ein Beispiel für die Wichtigkeit der aquatischen atmosphärischen Chemie ist die Oxidation von SO₂ zu H₂SO₄. Sie spielt eine Schlüsselrolle bei der Problematik des sauren Regens. Das gasförmige SO₂, das durch die Verbrennung von fossilen, schwefelhaltigen Brennstoffen in die Atmosphäre gelangt, wird in der Gasphase nur langsam zu H₂SO₄ oxidiert. Da SO₂ in der aquatischen Phase der Atmosphäre gut löslich ist, reichert es sich in Wolken- und Nebeltropfen an und wird dort schnell durch gelöste Oxidantien, wie H₂O₂ und O₃, zu SO₄²⁻ oxidiert. Diese Art von aquatischen, atmosphärischen Reaktionen war lange ein Interessengebiet von mehreren Arbeitsgruppen an der EAWAG.

Die Zukunft der Atmosphärenchemie

Obwohl in den letzten 20 Jahren deutliche Fortschritte auf dem

Gebiet der Atmosphärenchemie gemacht wurden, gibt es noch viele Probleme zu lösen. Zum Beispiel in der Stratosphäre, wo Ozonzerstörungen nicht nur am Südpol, sondern auch in mittleren Breiten festgestellt wurden. Hier muss die Frage nach der Rolle der Sulfataerosole geklärt werden. Diese Staubpartikel werden durch die atmosphärische Oxidation von Carbonylsulfid (COS) oder Schwefeldioxid (SO₂) gebildet. SO₂ kann durch heftige Vulkaneruptionen die Stratosphäre erreichen. Die Sulfatpartikel könnten ähnliche Reaktionen

wie die polaren stratosphärischen Wolken begünstigen und damit zur Ozonzerstörung in mittleren Breiten beitragen. Weitere zur Zeit intensiv bearbeitete Themen in der Stratosphärenchemie sind die Rolle der bromhaltigen Verbindungen, vor allem von Methylbromid (CH₃Br, ein verbreitetes Pflanzenschutzmittel) und der iodhaltigen Verbindungen wie Trifluormethyljodid (CF₃I). Falls brom- oder iodhaltige Stoffe die Stratosphäre erreichen, sind sie beträchtlich effizientere Ozonzerstörer als die chlorhaltigen Verbindungen.

In der Troposphärenchemie scheint sich ein Durchbruch in der Aufklärung der atmosphärischen Oxidationsmechanismen von aromatischen Verbindungen abzuzeichnen. Mit viel Aufwand werden in Laborstudien die Reaktionen von Alkoxyradikalen untersucht, denn diese wichtigen atmosphärischen Zwischenprodukte sind weitgehend für die Bildung der individuellen Produkte der VOC in der Atmosphäre verantwortlich. Unglücklicherweise gehören Alkoxyradikale zu den am schwierigsten zu untersuchenden Verbindungen in der Atmosphärenchemie, weshalb auf diesem Gebiet kein schneller Fortschritt zu erwarten ist.

Der Einfluss von flüssigen und festen Aerosolpartikeln auf die Troposphärenchemie wird in der Zukunft sicher untersucht werden. Auch hier ist nur ein eher langsamer Fortschritt zu erwarten, da das kontrollierte Herstellen und Charakterisieren dieser Partikel im Labor und auch das Messen von Geschwindigkeiten und Mechanismen der Reaktionen an deren Oberflächen beträchtliche Schwierigkeiten in sich birgt.

Eines ist klar: Die Zukunft der Atmosphärenchemie wird noch weitere Überraschungen bringen. (übersetzt von Stephan Seefeld und Konrad Stemmler)

- [1] Chapman S., A theory of upper atmospheric ozone, Mem. Roy. Met. Soc. 3, 103, (1930).
- [2] Chapman S., On ozone and atomic oxygen in the upper atmosphere, Philos. Mag. 10, 369, (1930).
- [3] Hunt B.G., Photochemistry of ozone in moist air, J. Geophys. Res. 71, 1385, (1966).
- [4] Bates D.R., Nicolet M., The photochemistry of water vapor, J. Geophys. Res. 55, 301, (1950).
- [5] Crutzen P.J., The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content, Quart. J. Roy. Met. Soc. 96, 320, (1970).
- [6] Johnston H.S., Reduction of stratospheric ozone by oxides of nitrogen catalysts from supersonic transport exhaust, Science 173, 517, (1971).
- [7] Molina M.J., Rowland F.S., Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone, Nature 249, 810, (1974).
- [8] Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., Hampson Jr. R.F., Kerr J.A., Troe, J., Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry. Supplement IV, IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry, J. Phys. Chem. Ref. Data 21, 1125, (1992).
- [9] Atkinson R., Baulch D.L., Cox R.A., Hampson Jr. R.F., Kerr J.A., Rossi M.J., Troe, J., Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry. Supplement V, IUPAC Subcommittee on Gas Kinetic Data Evaluation for Atmospheric Chemistry, J. Phys. Chem. Ref. Data 26, 521, (1997).
- [10] Haagen-Smit A.J., Ind. Eng. Chem. 44, 1342, (1952).
- [11] Haagen-Smit A.J., Bradley C.E., Ind. Eng. Chem. 45, 2086, (1953).
- [12] Leighton P.A., Photochemistry of Air Pollution, Academic Press, New York, 1961.
- [13] Levy II H., Normal atmosphere: large radical and formaldehyde concentrations predicted, Science 173, 141 (1971).
- [14] Demerjian K.L., Kerr J.A., Calvert J.G., The mechanism of photochemical smog formation, Advan. Environ. Sci. Technol. 4, 1, (1974).

Veranstaltung im Kurszentrum Kastanienbaum

Vom 16. bis 18. September 1996 trafen sich am Forschungszentrum für Limnologie (FOZL) 47 GewässerphysikerInnen aus Europa (D, H, S, Est, I, E, F und CH) zu einem Workshop über physikalische Prozesse in stehenden Gewässern mit den Schwerpunktstemen (Dichteströmungen, Grenzflächenprozesse und Interne Wellen/Mischung).

Dabei zeigte sich, dass das neue Kurszentrum in Kastanienbaum für Veranstaltungen mit bis zu 50 Personen sehr gut geeignet ist: Die schöne und ruhige Umgebung war für die Kommunikation zwischen den TeilnehmerInnen sehr förderlich und wurde sehr geschätzt.

A. Wüest und D.M. Imboden



Der Ökotoxikologie-Kurs «coetox»*

Wer ist verantwortlich dafür, dass Wasser nie und nirgends giftig ist? Wird Abwasser in den Kläranlagen genügend gut gereinigt? Welches sind die Ursachen beobachteter Fischsterben oder des Rückgangs von Raubvogelpopulationen? Wie giftig dürfen Altlasten und Böden sein? Wohin gelangen die Zehntausende von Stoffen, welche wir in unserem Alltag nutzen? Was bewirken sie? Was ist das Mass für Giftigkeit? Wie können Informationen über die Ökotoxizität beschafft, wie müssen sie interpretiert und bewertet werden? Mit solchen und ähnlichen Fragen befasst sich die Ökotoxikologie.

Um die Kenntnisse in dieser relativ jungen Wissenschaft zu verbreiten und Erfahrungen auszutauschen, organisieren das Institut de génie de l'environnement der EPF Lausanne und ÖkotoxikologInnen der EAWAG gemeinsam mit dem BUWAL und weiteren Partnern aus Wirtschaft, Hochschule und Verwaltung seit 1994 eine Kursreihe zu Themen der Ökotoxikologie.

Die bisher durchgeführten Kursblöcke sind von jeweils zwischen 15 und 30 Personen besucht worden und stiessen auf ein sehr positives Echo. Geschätzt wurde neben den praktischen Übungen, Demonstrationen und Besichtigungen vor allem auch der Erfahrungsaustausch mit den FachkollegInnen. Die TeilnehmerInnen stammten aus Vollzugsbehörden, Ingenieur- und Beratungsbüros, Industrie und Wissenschaft. Sie hatten mehrheitlich einen technisch-naturwissenschaftlich Hintergrund.

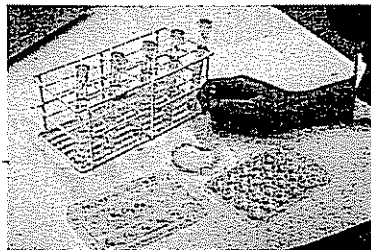
Die Dialoge an den Kursen haben folgende Erkenntnisse verdeutlicht:

• Die Praxis ist mit konkreten ökotoxikologischen Problemen konfrontiert. Lösungen müssen in Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis und in Interaktion mit ganz unterschiedlichen Disziplinen wie beispielsweise, Ökologie, Physiologie, Physik,

Chemie, Risiko-Analyse, etc. gesucht werden.

• Unschädlichkeit kann weder bewiesen noch garantiert werden. Prognosen betreffend möglicher Probleme müssen ausgehend von beobachteten Schadwirkungen extrapoliert werden. Sie sind mit den nötigen Einschränkungen zu betrachten. Dazu braucht es Sachkenntnisse und praktische Erfahrung.

• Ökotoxikologie ist in einer starken Entwicklung. Der Weiterbildungsbedarf bleibt daher in den nächsten Jahren gross. Neuere



Algentest zur Prüfung der Toxizität von Chemikalien.

gesamtheitliche Konzepte, wie beispielsweise systematische Nutzen-Risiken-Betrachtungen und Ökobilanzen (Life-cycle-Analysis) sind weiter zu entwickeln und einzuführen. Mit zusätzlichen und besseren Hilfsmitteln darf gerechnet werden (z.B. SW-Instrumente, on-line Datenbanken, bessere Testsysteme).

Kurs über östrogene Wirkungen und Zusammenarbeit mit der Wirtschaft

Aus der breiten Palette der durchgeführten Kursblöcke werden im folgenden einige Betrachtungen aus Block 8 «Umgang mit (öko-)toxischen Spurenstoffen am Beispiel von Nonylphenoethoxylaten» diskutiert.

In diesem Kurs wurde als Thema ein brisantes und aktuelles Problem aufgegriffen: die östrogene Wirkung gewisser Umweltchemikalien. Unter den TeilnehmerInnen waren denn auch überdurchschnittlich viele Vertreter aus der Industrie, welche sich in der Materie sehr gut auskannten. Die Nonylphenoethoxylate sind aufgrund der hormonaktiven Effekte ihrer Abbauprodukte (Nonylphenoole) ins Schussfeld geraten. Insbesondere der beobachtete Rückgang der Spermienzahl bei den Männern hat die Presse auf den

Die bisherigen Kursblöcke waren:

1. Block: Einführung in die Ökotoxikologie (Juni 94)
- 2ème bloc: Ecotoxicologie expérimentale (septembre 94)
3. Block: Schicksal und Wirkung von Chemikalien in künstlichen und natürlichen Ökosystemen (November 94)
4. Block: Ökobilanzen und Ökolabels – Eine Einführung in die ökologische Beurteilung von Produkten (August 95)
- 5ème bloc: Ecotoxicologie des décharges et des sites contaminés (octobre 95)
6. Block: Workshop, Ökotoxikologische Risiken und gesellschaftlicher Nutzen – Verantwortlichkeiten und Kompetenzen (wurde mangels TeilnehmerInnen nicht durchgeführt)
- 7ème bloc: Méthodes immunologiques et biomarqueurs en écotoxicologie (juin 96)
8. Block: Umgang mit (öko-)toxischen Spurenstoffen am Beispiel von Nonylphenoethoxylaten (Okt. 96)
9. Block: Einführung in die Ökotoxikologie. Theorie und Praxis (9–11. Sept. 1997)

* coetox = collaboration en écotoxicologie, eine Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen dem Institut de génie de l'environnement der EPFL und der EAWAG

Poster-Präsentationen: Das Beste daraus machen!

Plan gerufen und nicht nur wissenschaftliche Kontroversen, sondern auch politische Aktionen bewirkt. In gewissen Anwendungen sind Nonylphenoethoxylate entweder schon verboten oder freiwillig zurückgezogen worden, in weiteren sollen dies noch geschehen. Die Absicht der OSPAR (*Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution*), Nonylphenole zu verbieten, hat die betroffenen Hersteller mobilisiert. Sie wollen ihre Märkte (in der Grössenordnung von Hunderten von Millionen Franken) nicht widerstandslos abgeben. Dies aber nicht nur aus wirtschaftlichen Interessen, sondern auch weil umweltverträgliche Ersatzstoffe nicht für alle Produkte verfügbar sind. Die Frage der Bewertung von Nutzen und Risiken stellt sich und kann einmal mehr nicht befriedigend beantwortet werden.

Am Kurs ging klar hervor, dass die Industrie an umweltverträglichen Produkten interessiert ist, aber natürlich in erster Linie um ihre Marktanteile kämpft. Die Umweltwissenschaften ihrerseits stecken in einem «Beweisnotstand» bezüglich der Umweltverträglichkeit, bzw. Schädlichkeit von Stoffen und deren Bewertung. Solche Interessenkonflikte gehören zum Alltag; sie können nicht beseitigt oder endgültig gelöst werden. In Zusammenarbeit müssen die Betroffenen eine Balance zwischen (langfristigen) öffentlichen und (kurzfristigen) kommerziellen Interessen finden. Bei den östrogen wirksamen Stoffen ist dieser Prozess in vollem Gang.

Insgesamt hat sich die Zusammenarbeit von EPFL und EAWAG bei der Organisation der Kurse sehr gut bewährt und wir haben beschlossen weiterzumachen. Für 1997 ist nochmals eine Einführung in die Ökotoxikologie geplant.

*Herbert Güttinger (EAWAG)
Joseph Taradellas (IGE/EPFL)*

Letzten November hat eine Gruppe initiativer Mitglieder des Instituts für experimentelle Ökologie der ETH einen Kongress für Doktorierende in terrestrischer Ökologie organisiert. In dessen Rahmen fanden verschiedene Workshops statt, einer davon mit dem Titel «Powerful Posters».

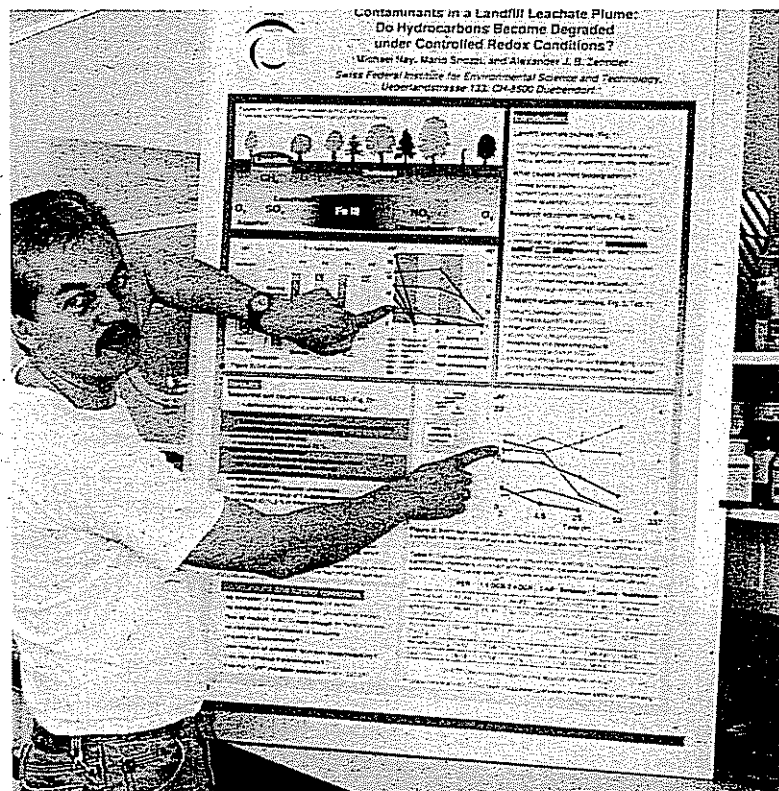
Während des Workshops erarbeiteten die 15 Teilnehmenden eine Liste von Merkmalen, die für wirkungsvolle Poster-Präsentationen von zentraler Bedeutung sind. Diese wurden nach dem Kongress auf der WWW-Seite des Didaktikzentrums publiziert (<http://www.diz.ethz.ch/DiZ/>).

Kaum war der oben erwähnte Workshop vorbei, traf die erste Erfolgsmeldung per E-mail ein! Ein Teilnehmer des November-Workshops, Michael Nay (Doktorand an der EAWAG), präsentierte in St. Gallen seine neuesten Forschungsergebnisse in Form eines Posters an der Jahrestagung der Schweizerischen Gesellschaft für Mikrobiologie (Contaminants in a Landfill Leachate Plume: do

hydrocarbons become degraded under controlled redox conditions? M. Nay, M. Snozzi, A.J.B. Zehnder). Seine gestalterischen Bemühungen wurden prompt mit dem ersten Preis von fast 50 Teilnehmern für das beste Poster belohnt! Die Jury lobte vor allem die Farbkodierung der Darstellung bezüglich der Feldsituation und deren Umsetzung in Laborexperimente. Dadurch wurde eine Klarheit geschaffen, durch die sich viel zusätzlicher Text erübrigt. Weiterhin wurde kein Fliesstext verwendet, sondern es wurden die wichtigsten Zusammenhänge unter Spiegelstrichen in Kurzform subsummiert, was das Lesen erleichtert und die Möglichkeit bietet, mehr Information auf beschränktem Platz in gut leserlicher Grösse unterzubringen.

Selbstverständlich trägt die Autorin oder der Autor nicht nur für die Präsentation, sondern auch für die wissenschaftliche Qualität des Inhalts die volle Verantwortung.

*Pamela Alean-Kirkpatrick
Didaktikzentrum ETH*



Separata bitte mit Talon auf der letzten Seite bestellen

Publikationen

- 2139 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.:** Nitrous oxide emissions to the atmosphere from an artificially oxygenated lake. *Limnol. Oceanogr.* 41, 548–553 (1996).
- 2140 **Aeschbach-Hertig, W., Kipfer, R., Hofer, M., Imboden, D.M.:** Density-driven exchange between the basins of Lake Lucerne (Switzerland) traced with the ^3H - ^3He method. *Limnol. Oceanogr.* 41, 707–721 (1996).
- 2141 **Naegeli, M.W., Huggenberger, P., Uehlinger, U.:** Ground penetrating radar for assessing sediment structures in the hyporheic zone of a prealpine river. *J. North. Amer. Benthol. Soc.* 15, 353–366 (1996).
- 2142 **Krejci, V.:** Integrated approach to the point-non point-pollution abatement in urban drainage. *Water Sci. Tech.* 33, No. 4–5, 9–15 (1996).
- 2143 **Purtschert, I., Siegrist, H., Gujer, W.:** Enhanced denitrification with methanol at WWTP Zürich Werdhölzli. *Water Sci. Tech.* 33, No. 12, 117–126 (1996).
- 2144 **Wild, D., Kisliakova, A., Siegrist, H.:** P-Fixation by Mg, Ca and zeolite A during stabilization of excess sludge from enhanced biological P-removal. *Water Sci. Tech.* 33, No. 1–2, 391–398 (1996).
- 2145 **Siegrist, H.:** Nitrogen removal from digester supernatant – comparison of chemical and biological methods. *Water Sci. Tech.* 33, No. 1–2, 399–406 (1996).
- 2146 **Fent, K.:** Organotin compounds in municipal wastewater and sewage sludge: contamination, fate in treatment process and ecotoxicological consequences. *The Sci. of the Total Environment* 185, 151–159 (1996).
- 2147 **Fent, K., Hunn, J.:** Cytotoxicity of organic environmental chemicals to fish liver cells (PLHC-1). *Marine Environ. Res.* 42, 377–382 (1996).
- 2148 **Sigg, L., Kistler, D., Ulrich, M.M.:** Seasonal variations of zinc in a eutrophic lake. *Aquatic Geochem.* 7, 313–328 (1996).
- 2149 **Tockner, K.:** Colonization experiments for biomonitoring riparian communities of a large regulated river, the Danube (Austria). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 113, Large Rivers 10, 433–442 (1996).
- 2150 **Stumm, W.:** Surface chemical theory and predicting the distribution of contaminants in the aquatic environment. 11th Ches-
ter C. Kiesel memorial lecture, University of Arizona, Dept of Hydrology and Water Resources, Tucson, April 15, 1992.
- 2151 **Guthruf, J.:** Populationsdynamik und Habitatwahl der Äsche (*Thymallus thymallus* L.) in drei verschiedenen Gewässern des schweizerischen Mittellandes. Diss. ETHZ Nr. 11'720, Zürich 1996.
- 2152 **Matthäi, C.D.:** Disturbance and invertebrate patch dynamics in a prealpine river. Diss. ETHZ No. 11'765, Zürich 1996.
- 2153 **Gammeter, S.:** Einflüsse der Siedlungsentwässerung auf die Invertebraten-Zönose kleiner Fließgewässer. Diss. ETHZ Nr. 11'673, Zürich 1996.
- 2154 **Lemcke, G.:** Paläoklimarekonstruktion am Van See (Ostanatolien, Türkei). Siss. ETHZ Nr. 11'786, Zürich 1996.
- 2155 **Knauer, K.:** Interactions of trace metals (Cu, Zn and Mn) with freshwater phytoplankton. Diss. ETHZ. No. 11'802, Zürich 1996.
- 2156 **Jans, U.:** Radikalbildung aus Ozon in atmosphärischen Wassern – Einfluss von Licht, gelösten Stoffen und Flusspartikeln. Diss. ETHZ. Nr. 11'814, Zürich 1996.
- 2157 **Holiencin, A.:** Nitritumsatz in nitrifizierenden Belebungsanlagen. Diss. ETHZ Nr. 11'875, Zürich 1996.
- 2158 **Diekmann, A., Jaeger, C.C.:** Aufgaben und Perspektiven der Umweltsoziologie. In: «Umweltsoziologie», A. Diekmann, C.C. Jaeger (Hrsg.). Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen 1996, S. 11–27.
- 2159 **Jaeger, C.C.:** Humanökologie und der blinde Fleck der Wissenschaft. In: «Umweltsoziologie», A. Diekmann, C.C. Jaeger (Hrsg.). Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen 1996, S. 164–190.
- 2160 **Huggenberger, P.:** Prozesse im Grundwasser und ihre Modellierung; geologische Ansätze zur Bestimmung der Heterogenität des Untergrundes – geologisch-hydraulische Charakteristika. In: «Instabile Hänge und andere risikorelevante Prozesse». Monte Verità. Birkhäuser Verlag, Basel 1996, S. 307–320.
- 2161 **Tockner, K., Bretschko, G.:** Spatial distribution of particulate organic matter (POM) and benthic invertebrates in a river-floodplain transect (Danube, Austria): importance of hydrological connectivity. *Arch. Hydrobiol.* 115, Large Rivers 11, 1, 11–27 Dez. 1996.
- 2162 **Wanner, O.:** Modelling of Biofilms. *Biofouling* 10(1–3), 31–41 (1996).
- 2163 **Fent, K.:** Permanent fish cell cultures as novel tools in environmental toxicology. *3R-Info-Bull.* Nr. 9, 1, 1996.
- 2164 **Johnson, C.A., Kersten, M., Ziegler, F., Moor, H.C.:** Leaching behaviour and solubility – controlling solid phases of heavy metals in municipal solid waste incinerator ash. *Waste Management* 16, No. 1–3, 129–134 (1996).
- 2165 **Rijnaarts, H.H.M., Norde, W., Brouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.:** Bacterial deposition in porous media related to clean bed collision efficiency and to substratum blocking by attached cells. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2869–2876 (1996).
- 2166 **Rijnaarts, H.H.M., Norde, W., Brouwer, E.J., Lyklema, J., Zehnder, A.J.B.:** Bacterial deposition in porous media: effects of cell-coating, substratum hydrophobicity, and electrolyte concentration. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2877–2883 (1996).
- 2167 **Moor, H.C., Schaller, T., Sturm, M.:** recent changes in stable lead isotope ratios in sediments of Lake Zug, Switzerland. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 2928–2933 (1996).
- 2168 **Escher, B.I., Snozzi, M., Schwarzenbach, R.P.:** Uptake, speciation, and uncoupling activity of substituted phenols in energy transducing membranes. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3071–3079 (1996).
- 2169 **Perlinger, J.A., Angst, W., Schwarzenbach, R.P.:** Kinetics of the reduction of hexachloroethane by juglone in solutions containing hydrogen sulfide. *Environ. Sci. & Technol.* 30, 3408–3417 (1996).
- 2170 **Uehlinger, U., Bühner, H., Reichert, P.:** Periphyton dynamics in a flood-prone prealpine river: evaluation of significant processes by modelling. *Freshwater Biol.* 36, 249–263 (1996).
- 2171 **Frutiger, A.:** Embryogenesis of *Dinocras cephalotes*, *Perla grandis* and *P. marginata* (Plecoptera: Perlidae) in different temperature regimes. *Freshwater Biol.* 36, 497–508 (1996).
- 2172 **Krebs, P.:** Numerische Modellierung der Prozesse in Nachklärbecken. VSA-Verb.

Ber. Nr. 511, 201. Mitgl. Verslg., Zürich 12.11.1996, S. 12–24.

2173 **Voelz, N.J., Ward, J.V.:** Microdistributions, food resources and feeding habits of filter-feeding trichoptera in the Upper Colorado River. *Arch. Hydrobiol.* 137, 3, 325–248 (1996).

2174 **Tros, M.E., Bosma, T.N.P., Schraa, G., Zehnder, A.J.B.:** Measurement of minimum substrate concentrations (S_{min}) in a recycling fermentor and its prediction from the kinetic parameters of *Pseudomonas* sp. strain B13 from batch and chemostat cultures. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 3655–3661 (1996).

2175 **Knobel, H.-R., Egli, T., Van der Meer, J.R.:** Cloning and characterization of the genes encoding nitrilotriacetate monooxygenase of *Chelatobacter heintzii* ATCC 29600. *J. Bacteriol.* 178, 6123–6132 (1996).

2176 **Stanford, J.A., Ward, J.V., Liss, W.J., Frissell, C.A., Williams, R.N., Lichatowich, J.A., Coutant, C.C.:** A general protocol for restoration of regulated rivers. *Regulated Rivers: Res. & Management* 12, 391–413 (1996).

2177 **Wüest, A., Piepke, G., Halfman, J.D.:** Combined effects of dissolved solids and temperature on the density stratification of Lake Malawi. In: «The limnology, climatology and paleoclimatology of the East African lakes», T.C. Johnson, E.O. Odada (Eds.). Gordon & Breach, Toronto 1996, pp.183–202.

2178 **Atkinson, R., Baulch, D.L., Cox, R.A., Hampson jr, R.F., Kerr, J.A., Rossi, M.J., Troe, J.:** Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Supplement V. *Atmospheric Environ.* 30, 3903–3904 (1996).

2179 **Krebs, P., Stamou, A.I., Garcia-Heras, J.L., Rodi, W.:** Influence of inlet and outlet configuration on the flow in secondary clarifiers. *Water Sci. Tech.* 34, No. 5–6, 1–9 (1996).

2180 **Larsen, T.A., Gujer, W.:** Separate management of anthropogenic nutrient solutions (human urine). *Water Sci. Tech.* 34, No. 3–4, 87–94 (1996).

2181 **Baumer, P., Volkart, P., Krebs, P.:** Dynamic loading tests for final settling tanks. *Water Sci. Tech.* 34, No. 3–4, 267–274 (1996).

2182 **Eggleston, C.M., Ehrhardt, J.-J., Stumm, W.:** Surfaces structural controls on pyrite oxidation kinetics: an XPS-UPS, STM, and modeling study. *Amer. Mineralogist* 81, 1036–1056 (1996).

2183 **Fankhauser, R.:** Measurement properties of tipping bucket rain gauges and their influence on urban runoff simulation. 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Hannover 1996. SuG Verlagsges. Hannover 1996, pp. 109–114.

2184 **Krebs, P., Krejci, V., Fankhauser, R., Siegrist, H.:** Reducing the overall impact on a small receiving water. 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Hannover 1996. SuG Verlagsges. Hannover 1996, pp. 365–370.

2185 **Casey, W.H., Ludwig, C.:** Silicate mineral dissolution as a ligand-exchange reaction. In: «Chemical weathering rates of silicate minerals», A.F. White, S.L. Brantley (Eds.). *Reviews in Mineralogy* Vol. 31 (1995), pp. 87–117.

2186 **Furrer, G., Lothenbach, B., Schärli, H., Ludwig, C.:** Interactions between polynuclear aluminium compounds and heavy metal ions. *J. Ecol. Chem.* 3, No. 3, 303–312 (special issue) (1994).

2187 **Ludwig, C., Devidal, J.-L., Casey, W.H.:** The effect of different functional groups on the ligand-promoted dissolution of NiO and other oxide minerals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60, No. 2, 213–224 (1996).

2188 **Ludwig, C., Casey, W.H., Rock, P.A.:** Prediction of ligand-promoted dissolution rates from the reactivities of aqueous complexes. *Nature* 375, 44–47, 4 May 1995.

2189 **Casey, W.C., Ludwig, C.:** The mechanism of dissolution of oxide minerals. *Nature* 381, 506–509, 6 June 1996.

2190 **Ludwig, C., Schindler, P.W.:** Surface-complexation on TiO₂. I. Adsorption of H⁺ and Cu²⁺ ions onto TiO₂ (anatase). *J. Colloid & Interface Sci.* 169, 284–290 (1995).

2191 **Ludwig, C., Schindler, P.W.:** Surface complexation on TiO₂. II. Ternary surface complexes: coadsorption of Cu(II) and organic ligands (2,2'-bipyridyl, 8-aminoquinoline, and *o*-Phenylenediamine) onto TiO₂ (anatase). *J. Colloid & Interface Sci.* 169, 291–299 (1995).

2192 **Ludwig, C., Casey, W.H.:** On the mechanism of dissolution of bunsenite

[NiO(s)] and other simple oxide minerals. *J. Colloid & Interface Sci.* 178, 176–185 (1996).

2193 **Gasser, U.G., Dahlgren, R.A., Ludwig, C., Läuchli, A.E.:** Release kinetics of surface-associated Mn and Ni in serpentinic soils: pH effects. *Soil Sci.* 160, No. 4, 273–280 (1995).

2194 **Hug, S.J., Laubscher, H.U., James, B.R.:** Iron(III) catalyzed photochemical reduction of chromium(VI) by oxalate and citrate in aqueous solutions. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 160–170 (1997).

2195 **Weissmahr, K.W., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P., Hany, R., Nüesch, R.:** *In situ* spectroscopic investigations of adsorption mechanisms of nitroaromatic compounds at clay minerals. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 240–247 (1997).

2196 **Seefeld, S., Kinnison, D.J., Kerr, J.A.:** Relative rate study of the reactions of acetylperoxy radicals with NO and NO₂: peroxyacetyl nitrate formation under laboratory conditions related to the troposphere. *The J. of Phys. Chem.* 101, 55–59 (1997).

2197 **Kerr, J.A., Stocker, D.W., Semadeni, M., Eberhard, J., Müller, C.:** The rates and mechanisms for VOC photo-oxidation reactions under simulated tropospheric conditions. In: «Transport and chemical transformation of pollutants in the troposphere», Vol. 3, «Chemical processes in atmospheric oxidation», G. Le Bras (Ed.). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1997, pp.128–134.

2198 **Fent, K.:** Organotins in municipal wastewater and sewage sludge. In: «Organotin», M.A. Champ, P.F. Seligman (Eds.), Chapman & Hall, London 1996, pp. 581–600.

2199 **Brüschweiler, B.J., Würzler, F.E., Fent, K.:** Inhibitory effects of heavy metals on cytochrome P4501A induction in permanent fish hepatoma cells. *Arch. Environ. Toxicol.* 31, 475–482 (1996).

2200 **Koch, G., Siegrist, H., Gujer, W.:** Denitrifikation mit Methanol in der Flokkungsfiltration. *Gas, Wasser, Abwasser* 76, 859–866 (1996).

2201 **Bosma, T.N.P., Middeldorp, P.J.M., Schraa, G., Zehnder, A.J.B.:** Mass transfer limitation of biotransformation; quantifying bioavailability. *Environ. Sci. & Technol.* 31, 248–252 (1997).

BESTELLTALON

43 D

Bitte schicken Sie mir die

EAWAG news in deutsch englisch französisch Publikationsnummern

Bemerkungen

 Dies ist eine Adressänderung (alte Adresse)

Datum

Anrede

Name/Vorname

Funktion

Firma/Organisation

Strasse und Nummer

Land, PLZ, Stadt:

Telefon

Telefax



EAWAG
 Bibliothek
 CH-8600 Dübendorf