



- 2 Doktorieren mit Blick auf die Zukunft**  
Heinrich Eisenmann
- 3 Ressourcenbewirtschaftung am Beispiel des Wohnens**  
Susanne Kytzia und Peter Baccini
- 6 Baikalsee: Grundlagenforschung als Nukleus ökologischer Verantwortung?**  
Rolf Kipfer
- 10 Vergangenheit und Gegenwart der Schweizer Gewässer**  
Rudolf Koblet
- 13 Die Energiedosis macht, ob ein Ding Gift ist**  
Giulio P. Genoni
- 16 Kunststoffteilchen statt Beton – Alternative zum Ausbau von Kläranlagen**  
Max Maurer
- 18 Erhöhte biologische Phosphatelimination aus Abwasser – Die Suche nach den Organismen**  
Rolf Hesselmann
- 21 Krokodile im Vierwaldstättersee**  
Sybille Börner und Heinz Stalder
- 24 Strategie Umwelt des ETH-Bereichs**
- 25 Weiterbildung**  
25 5 Jahre PEAK  
26 Programm PEAK 98  
26 OECD-Trinkwasser-Kongress  
27 Eine leistungsstarke Institution braucht qualifizierte MitarbeiterInnen
- 26 EAWAG intern**  
12 Von der EAWAG zur EPFL  
17 Otto-Jaag-Preis 1997  
23 H. Greinacher Preis 1998 an Jürg Beer  
26 Zur Pensionierung von Heidi Bolliger
- 29 Publikationen 2272–2375 und Bücher 1997**

# Doktorieren mit Blick auf die Zukunft



*Mit Blick nach oben und voraus –  
Doktorierende an der EAWAG.*

Doktorierende leisten an der EAWAG die wissenschaftliche Hauptarbeit: an fast allen Projekten sind wir intensiv beteiligt und stellen deshalb auch viele AutorInnen dieser EAWAG news. Unsere Arbeiten überdecken ein breites Themenspektrum, wir suchen z.B. nach effizienten Entsorgungsmöglichkeiten schädlicher Chemikalien oder überprüfen die gesellschaftlichen Voraussetzungen für das CarSharing, wir analysieren erdzeitliche Klimaveränderungen, aber auch die Verlandung von Kleinseen.

Dabei lernen wir permanent auf wissenschaftlichem, technischem und gesellschaftlichem Gebiet dazu. Im Laboralltag heisst das, bis in die Nacht hinein an Experimenten zu tüfteln und immer wieder herbe Rückschläge in Kauf zu nehmen. Das ist Knochenarbeit, mit der wir die Erkenntnisse des Menschen über seine Natur und Umgebung umsetzen und vermehren wollen – nichts weniger als das.

Unsere Arbeiten faszinieren, aber sie brennen auch unter den Nägeln. Die scheinbar so unterschiedlichen Projekte verbindet eine zukunftsweisende Frage: wie können die vorhandenen Ressourcen so genutzt werden, dass auf lange Sicht kein Schaden entsteht und gleichzeitig die Lebensqualität zunimmt? Die Lösung dieser Frage scheint heutzutage fast unmöglich. Sie kann aber (zumindest teilweise) mit klaren, unbestechlichen Erkenntnissen über die Natur und daraus folgenden technologischen und sozialen Verbesserungen gelingen. Wir haben das Privileg, diese Ziele an der EAWAG zu verfolgen, welche uns dafür eine hervorragende Infrastruktur zur Verfügung stellt. Hinter der Organisation stehen aber Menschen, denen wir für das gemeinsame Engagement danken, von unserem technischen Personal bis zur aufgeschlossenen Direktion, von GastdozentInnen bis zu den Steuerzahlenden.

Das Doktorat bietet die Faszination der Forschung, aber auch sehr konkrete Schattenseiten, die nicht ungenannt bleiben sollen. Neben der langjährigen

Unterbezahlung sind dies vor allem ungewisse Zukunftsaussichten. Doktorierende werden heutzutage als billige, hochmotivierte Arbeitskräfte eingesetzt, mit denen eine hohe Produktivität zu erreichen ist. Diese Art der Ressourcennutzung führte inzwischen zu steigender Unzufriedenheit bei den Betroffenen selbst, was sicherlich auch die Leistung beeinträchtigt. Darüber hinaus führte sie zu einer hohen Zahl promovierter Stellensuchender. Wenn Sie, liebe Leser und Leserinnen, über unsere Projekte in Ihrem Alltag diskutieren, fördern Sie damit jene wissenschaftliche Arbeit, die es in Zukunft braucht.

Mit den an der EAWAG erworbenen Kenntnissen haben wir noch einiges vor. Bei der Verabschiedung frisch promovierter DoktorInnen feiern wir darum nicht nur einen abgeschlossenen Reifeprozess, sondern blicken auch tatendurstig voraus.

Mit freundlichen Grüssen

für die Doktorierenden der EAWAG  
Heinrich Eisenmann



**EAWAG news –  
Informationsbulletin der EAWAG**

**Herausgeberin**  
Vertrieb und © by:  
EAWAG, CH-8600 Dübendorf  
Tel.: +41-1-823 55 11  
Fax: +41-1-823 53 75  
<http://www.eawag.ch>

**Redaktion**  
Diana Hornung, EAWAG

**Copyright**  
Abdruck, auch auszugsweise, ist unter Benachrichtigung der Herausgeberin und mit Quellenangabe «Abdruck aus den EAWAG news 45 D, 1998» gestattet

**Erscheinungsweise**  
zweimal jährlich in deutsch, englisch und französisch

**Fotograf/in**  
Ohne besondere Angaben: Diana Hornung oder unbekannt

**Satz, Bild und Layout**  
Peter Nadler, 8700 Küssnacht

**Gedruckt**  
auf Umweltschutzpapier

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

ISSN 1420-3979

#### Legende zum Titelbild

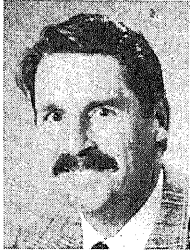
Der Baikalsee ist Teil einer grossen alten kontinentalen Riftstörung, welche vor mehr als 30 Millionen Jahren durch tektonische Bewegungen im Zusammenhang mit der Himalaja Gebirgsbildung erneut aktiv wurde. Schneebedeckte Berge (3000 m) umgeben den See, deren steilen Abhänge sich unter Wasser bis zur maximalen Seetiefe von über 1600 m fortsetzen (siehe Beitrag von Rolf Kipfer). Im Herzen Sibiriens gelegen friert der Baikalsee regelmässig Ende Dezember zu und taut im Mai (Zeitpunkt der Aufnahme) wieder auf. Der Zeitpunkt des Gefrierens und Auftauens wird seit dem frühen 19. Jahrhundert aufgezeichnet. Neue Untersuchungen der UP/EAWAG (David M. Livingstone) zeigen, dass die Eisbildung zusehends später einsetzt. Das Ende der Eisbedeckung korreliert mit den Zirkulationsverhältnissen über dem Nordatlantik (NAO-Index) und spiegelt damit die meteorologischen Bedingungen auf der Nordhalbkugel der Erde.

Susanne Kytzia und Peter Baccini

# Ressourcenbewirtschaftung am Beispiel des Wohnens



Susanne Kytzia



Peter Baccini

Um die Visionen nachhaltiger Entwicklung in realisierbare Handlungsstrategien zu übertragen, müssen wir besser verstehen, wie anthropogene Systeme funktionieren. Die ökonomische Theorie kann hierzu in der disziplinenübergreifenden Forschung einen wichtigen Beitrag leisten. Mit diesem Ziel wird ein methodischer Ansatz vorgestellt, der eine kombinierte Beschreibung von physiologischen und ökonomischen Prozessen auf der Basis der Stoffflussanalyse erlaubt.

## Menschliche Aktivitäten als Ausgangspunkt der Analyse

Der gewählte methodische Ansatz (Stoffflussanalyse gemäss [1, 2]) geht von der Hypothese aus, dass sich die Bedürfnisse des Menschen unabhängig von seiner Kultur und seinem Lebensstandard mit folgenden vier Hauptaktivitäten beschreiben lassen: Ernähren, Reinigen, Transportieren und Kommunizieren, Wohnen und Arbeiten.

Die Teilaktivität *Wohnen* bestimmt in Mitteleuropa einen massgeblichen Teil des heutigen Ressourcenverbrauchs. Sie verursacht je ein Drittel des Jahresenergiebedarfs [3] und des jährlichen Güterumsatzes [4] einer Volkswirtschaft. In dicht besiedelten Regionen wie dem Schweizer Mittelland (Fig. 1) sind rund 40% der Siedlungsfläche dem Wohnen vorbehalten [5]. Das in Fig. 2 dargestellte Stoffhaushaltssystem zeigt die wichtigsten Prozesse und Güterflüsse im System *Wohnen*. Es wird durch folgende Eigenschaften charakterisiert [2]:

- *Wohngebäude sind bedeutende Materiallager der Privathaushalte*

Im Schweizer Mittelland sind pro Einwohner 100 Tonnen Baumaterial in den Wohngebäuden gebunden. Dies sind rund 98% des Güterlagers der Privathaushalte.

- *Der Gebäudebestand wächst und erneuert sich nur langsam*

Das Materiallager in Wohngebäuden wächst mit jährlich 1%. Ein weiteres Prozent wird im Rahmen von Sanierung, Erneuerung und Abbruch jährlich ersetzt. Die theoretische mittlere

Verweilzeit von Baumaterial im Gebäudepark beträgt damit rund hundert Jahre.

- *Massgeblicher Energieverbraucher ist der Gebäudebetrieb*

Der Energieverbrauch des Gebäudebetriebs (Heizenergie etc.) ist um den Faktor 10 höher als der Bauenergiebedarf.

## Welche Akteure bestimmen das Stoffhaushaltssystem?

Schlüsselprozesse des Güter- und Energiehaushalts im *Wohnen* sind der Gebäudebetrieb und die Gebäudeherstellung. Die ökonomische Analyse konzentriert sich auf die Akteure, die diese beiden Prozesse steuern: die *EigentümerInnen* von Wohngebäuden und die *NutzerInnen* von Wohnraum [6].

## Von der Stoffflussanalyse zur «Geldflussanalyse»

Um das Verhalten dieser Akteure aus ökonomischer Sicht zu beschreiben, werden Geldflüsse bzw. -lager in das System eingefügt (siehe Fig. 3). Zunächst werden diejenigen Geldflüsse ergänzt, die direkt in Beziehung zu Güter- und Energieflüssen stehen. Dies sind Zahlungsflüsse zwischen KäuferInnen und VerkäuferInnen im Austausch gegen die bezogenen Güter- oder Energiemengen.

Im zweiten Schritt werden die Lager von Gütern und Stoffen ökonomisch bewertet. Als Grundlage kann der Marktwert der Lager gewählt werden. Er spiegelt den erwarteten Ertrag der zukünftigen Nutzung dieses Lagers

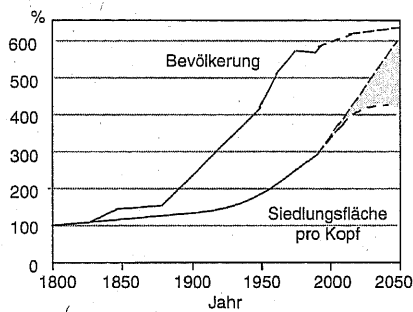


Fig. 1 Die durchschnittliche Siedlungsfläche pro Kopf wächst schneller als die Bevölkerung. Gestrichelt ist die wahrscheinliche demographische Entwicklung für zwei Extremszenarien der Siedlungsflächennutzung.

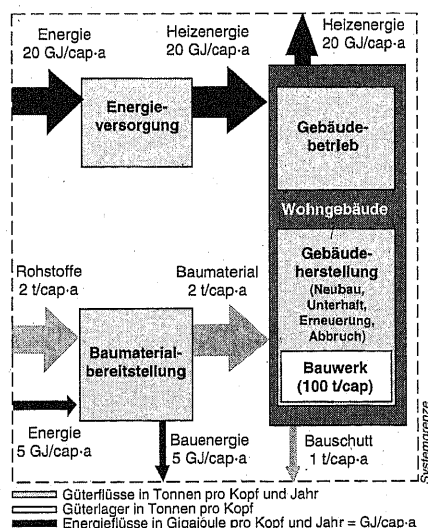


Fig. 2 Güter- und Energieflussanalyse der Aktivität «Wohnen» am Beispiel der Stadt Olten (Bezugsjahr 1990), ausführlich in [8].

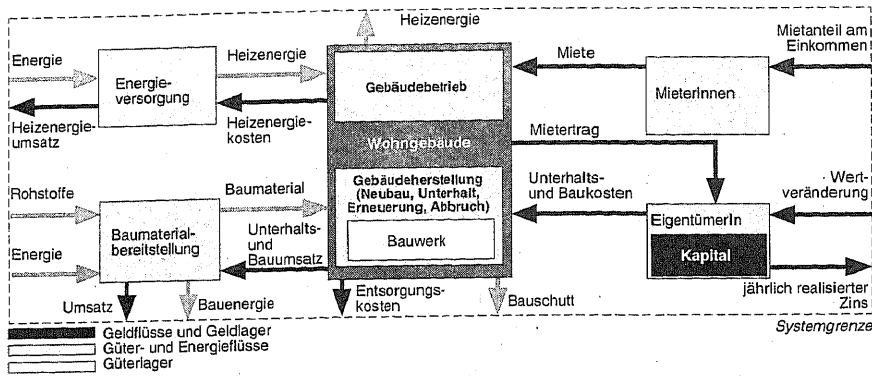


Fig. 3 Erweiterung der Systemanalyse – als energie- und materiegebundene Geldflüsse werden die Heizenergiekosten, resp. der -umsatz, die Unterhalts- und Baukosten, resp. der -umsatz, wie die Entsorgungskosten eingeführt. Immaterialle Geldflüsse sind die Miete, der Mietertrag, der Mietanteil am Einkommen sowie die Wertveränderung und der jährlich realisierte Zins.

wider und ist abhängig von seiner Funktion sowie dem erwarteten Wiederverkaufswert. Der Wiederverkaufswert umfasst den Wert der vom Lager beanspruchten Landfläche und des gebundenen Materials.

In einem dritten Schritt werden diejenigen Geldflüsse in das System aufgenommen, die nicht in direktem Bezug zu den Energie- und Güterflüssen stehen. Zu unterscheiden sind hier Wertveränderung und Wertschöpfung. Im System *Wohnen* beispielsweise verändert sich im Zeitverlauf der Wert des im Bauwerk gebundenen Kapitals durch die Alterung der Gebäude und die zunehmende Verknappung des Landes (im Verhältnis zur wachsenden Menge anderer Güter). Eine Wertschöpfung entsteht beim *Wohnen* durch die Nutzung der Gebäude als Wohnraum. Sie wird als Mietzahlung entgolten. Gleichzeitig erwarten die EigentümerInnen ein Entgelt für die Investition ihres Kapitals in Wohngebäude (Zins).

### Ökonomische Phänomenologie des Wohnens

Die Geldflüsse wurden mit Daten aus der Volks- und Gebäudezählung 1990, Standardwerten aus der Literatur und

eigenen Erhebungen für die Stadt Olten geschätzt (Fig. 4). Die Ergebnisse zeigen folgende Eigenschaften des Systems:

- *Wohngebäude sind ein bedeutendes volkswirtschaftliches Kapital*

In der Stadt Olten sind rund 120 000 CHF pro Kopf als Kapital in Wohngebäuden gebunden. Dieses Kapital besteht zu einem Drittel aus dem Wert des überbauten Landes und zu zwei Dritteln aus dem Wert der Gebäude.

- *Kapitalkosten übersteigen die Unterhalts- und Baukosten*

Obwohl über 50% des Mietertrags zur Deckung der Kapitalkosten aufgewandt werden, realisieren die GebäudeeigentümerInnen lediglich eine durchschnittliche jährliche Verzinsung von rund 3%.

- *Energiekosten werden primär von den MieterInnen getragen*

Die Dominanz des Prozesses *Gebäudebetrieb* als Verursacher der Energiekosten des Systems ist eine Folge der entsprechenden Verbrauchsstruktur im Energiehaushalt. Sie machen rund 50% der nicht-kapitalbedingten jährlichen Kosten der Wohngebäude aus.

Mit ergänzenden Annahmen können die beschriebenen Eigenschaften des Güter-, Energie- und Geldhaushalts in Hinblick auf mögliche Hand-

lungsstrategien interpretiert werden. Die folgenden Beispiele illustrieren dieses Vorgehen.

### Beispiel Energiepreiserhöhung

Wie wirkt sich eine Erhöhung des Energiepreises als umweltpolitische Lenkungsmaßnahme auf den Energieverbrauch der Aktivität *Wohnen* aus? Um diese Frage zu beantworten, werden fünf zusätzliche Annahmen über das Systemverhalten getroffen [7, 8].

- Die Heizenergiekostenerhöhung wird von MieterInnen getragen.
- MieterInnen können durch Verhaltensänderungen maximal 30% des Heizenergieverbrauchs pro Quadratmeter einsparen.
- Eine Anpassung der Wohnraumnachfrage ist wegen hohen Anpassungskosten (Suchkosten etc.) erst in einem Zeitraum von zwei Jahren möglich.
- Durch Erneuerung von Wohngebäuden kann der Energieverbrauch um rund 60% (Sanierung) resp. 85% (Ersatzbau) pro Quadratmeter gesenkt werden.
- Eine Erhöhung der Leerwohnungsbestände dämpft die Investitionstätigkeit im Wohnungsbau.

Annahmen und Systemeigenschaften stützen die folgende Hypothese über

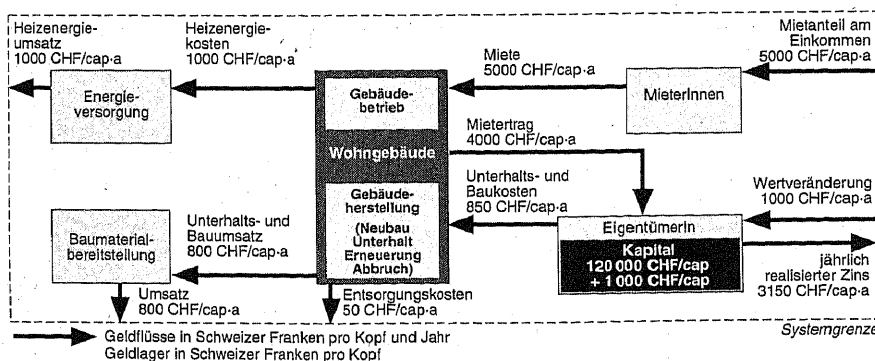


Fig. 4 Geldflusssystem «Wohnen» am Beispiel der Stadt Olten (Bezugsjahr: 1990) unter der Annahme, dass die Neubaurate gleich null ist; ausführlich in [8].

Bauwerk	Referenz (in% des Materiallagers im Vorjahr)	Umbau
Neubau	1.0	–
Sanierung	0.3	0.3
Ersatzbau	0.5	1.4
Unterhalt	1.0	1.0

Tab. 1

Annahmen der jährlichen Veränderungsrate des Bauwerks Schweiz in den Szenarien «wie anhin weiter» (Referenz) und «Umbau».

die Wirkung einer Energiepreiserhöhung:

*Die Lenkungsmaßnahme trifft über die Heizenergiekosten vor allem die MieterInnen.*

*Ihre Handlungsspielräume sind jedoch kurzfristig gering.*

*Die Lenkungswirkung der Energiepreiserhöhung wird so durch die Trägheit des Systems gebremst.*

Erst mittelfristig steigt die Nachfrage nach energieeffizienterem Wohnraum. Durch die geringen Sanierungs- und Ersatzbaukosten des Gebäudeparks kann diese Nachfrage nur teilweise gedeckt werden. Mieter müssen auf kleinere Wohnungen ausweichen und die Leerstandsquote steigt. Diese Entwicklung dämpft die Investitionstätigkeit im Wohnungsbau, sodass der Anpassungsprozess weiter verzögert wird.

Begleitend zu einer Energiepreiserhöhung sollten daher Massnahmen ergriffen werden, die die Anpassungsgeschwindigkeit des Systems *Wohnen* deutlich erhöhen. Ansatzpunkte bieten Wohnungspolitik und Raumplanung.

#### Beispiel Umbau des Siedlungsraums

Was bedeutet ein beschleunigter Umbau der Wohngebäude im Siedlungsraum aus ökonomischer Perspektive für EigentümerInnen und MieterInnen? Zu Beantwortung dieser Frage wird ein mögliches Umbauszenario für den Siedlungsraum in den nächsten 50 Jahren mit einem Referenzszenario («wie anhin weiter») verglichen (siehe Tab. 1). Dazu werden folgende zusätzliche Annahmen über das Systemverhalten getroffen [7, 8]:

- Gebäudewert und Heizenergieverbrauch hängen von den Sanierungs-, Ersatzbau-, Unterhalts- und Neubauraten der Wohngebäude ab.

- Der Wert des bebauten Landes wächst jährlich um 2%.
- Die Anzahl der Wohnbevölkerung und die Höhe der Mietzahlungen bleiben konstant.
- Alle anderen Variablen des Güter-, Energie- und Geldflusssystem hängen linear von den Veränderungsrate des Bauwerks ab.

Die Ergebnisse von Szenariorechnungen [8] erlauben folgende Hypothese:

*Langfristig ist es sowohl für EigentümerInnen als auch für MieterInnen ökonomisch vorteilhafter, wenn nun das Szenario «Umbau» (statt weiterhin Neubauten) beschleunigt an die Hand genommen wird.*

Das im Referenzszenario skizzierte anhaltende Wachstum des Wohngebäudebestands führt zu steigenden Unterhaltskosten. Dies betrifft Unterhaltsbaukosten und Kapitalkosten ebenso wie Heizenergiekosten. Durch Annahme eines «Nullwachstums» im Umbauszenario wird diese Kostenentwicklung gestoppt (Fig. 5). Die freiwerdenden Mittel stehen zur Finanzierung des Umbaus der bestehenden Siedlung zur Verfügung.

#### Schritte zu einer ökonomisch-ökologischen Modellbildung

Das Anwendungsbeispiel *Wohnen* zeigt, dass der hier vorgestellte Ansatz zur Integration ökonomischer Daten in ein Güter- und Energieflusssystem neue Erkenntnisse über die Funktionsweise anthropogener Systeme liefern kann. Im Gegensatz zu den in der Ökonomie häufig anzutreffenden Analysen einzelner Märkte schlägt dieser Ansatz eine Systembetrachtung vor, die unterschiedliche Akteure und Wechselwirkungen zwischen ihren Verhaltensmustern zeigt. Ergänzend zur Stoffhaushaltsbetrachtung liefert dieses Vorgehen Informationen über Einflussgrößen auf das Verhalten der Akteure, die nicht direkt materie- oder energiegebunden sind (z.B. die Kapitalkosten). Der Ansatz bedient sich dabei einer gemeinsamen «Sprache» (die Systembeschreibung der Stoff-

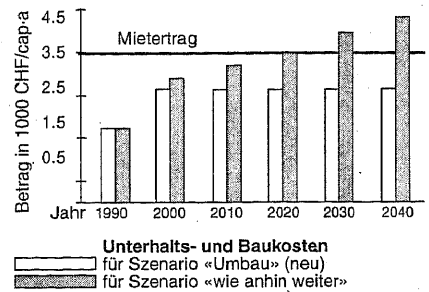


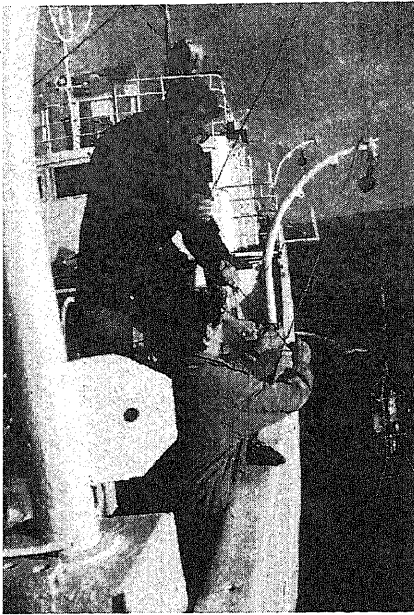
Fig. 5

Auswirkung der Szenarien «wie anhin weiter» und «Umbau» auf den Mietertrag und Unterhalts- und Baukosten [6, 8].

flussanalyse) zur Beschreibung anthropogener Systeme, die auf eine sowohl qualitative als auch quantitative Analyse der Phänomene ausgerichtet ist.

Die Entwicklung dieser Methode steht heute jedoch erst am Anfang. In einem nächsten Schritt sollen die ökonomischen Phänomene der Aktivitäten Reinigen, Transportieren/Kommunizieren, Ernähren und Arbeiten erarbeitet werden. Mit diesen Erkenntnissen über die ökonomischen Aspekte des regionalen Güterhaushalts wird die Grundlage für eine weitergehende ökonomisch-ökologische Modellierung geschaffen.

- [1] Baccini P., Brunner H.-P. (1991): *Metabolism of the Anthroposphere*, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1991.
- [2] Baccini P., Bader H.-P. (1996): *Regionaler Stoffhaushalt*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1996.
- [3] Schweizerische Gesamtenergiestatistik, Sonderdruck aus Bulletin SEV/VSE, Nr. 16.
- [4] BUND/MISEREOR (Hrsg.) (1996): *Zukunftsfähiges Deutschland*. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung, Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie, Basel.
- [5] Friedrich S., Kytzia S., Fischer C., Oswald F., Baccini P. (April 1997): *Umbau des Wohnens – Werkstattbericht aus einem transdisziplinären Forschungsprojekt*. in: *Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung (DISP)*, S. 23–29.
- [6] Kytzia S. (1998): *Wie kann man Stoffhaushaltssysteme mit ökonomischen Daten verknüpfen? Erster Ansatz am Beispiel der Wohngebäude*. in: *Lichtensteiger T., Baccini P. (Hrsg.), Ressourcen im Bau* (Publikation im Druck).
- [7] Redle M., Baccini P. (1997): *Metabolische Modelle für den Umbau urbaner Siedlungen am Beispiel der Wohngebäude* (Publikation im Druck).
- [8] Kytzia S. (1997): *Systemanalyse, Datenerfassung und Szenariorechnungen zum Modell Wohnen in Olten*. Anhang zum 2. Zwischenbericht des Projektes Synoikos. EAWAG (unveröffentlicht).



Rolf Kipfer (links) auf einer Expedition im Baikalsee (Winter 1995).

Rolf Kipfer, Roland Hohmann, Frank Peeters,  
Michael Sturm und Dieter M. Imboden

## Baikalsee:

### Grundlagenforschung als Nukleus ökologischer Verantwortung?

Warum am 7000 km entfernten Baikalsee forschen? Das 1992 begonnene Engagement der Umweltphysik der EAWAG und der ETH hat nichts mit Exotik und Reiselust, sondern vielmehr mit Verantwortung und Mut zu tun. Verantwortung, ein von der UNESCO unter Schutz gestelltes einmaliges Ökosystem zu erhalten, und Mut, unter schwierigen äusseren Bedingungen Wissen dort zu vermitteln, wo es gebraucht wird.

#### Zur Bedeutung des Baikalsees

Der Baikalsee ist der *grösste* Süsswasserkörper der Erde. Hinter dieser simplen Feststellung verbergen sich für einen

See wahrlich erstaunliche Dimensionen (Fig. 1). Der Baikalsee erstreckt sich im Osten Sibiriens zwischen 51° N/104° E und 56° N/110° E über eine Strecke von 700 km und bedeckt eine Fläche, die  $\frac{2}{3}$  der Schweiz überspannen würde. Mit einem Volumen von 23 000 km<sup>3</sup> enthält der Baikalsee mehr als 20% des verfügbaren Oberflächensüswassers der Erde, dies ist mehr Wasser als die grossen amerikanischen Seen zusammen fassen.

Der Baikalsee ist nicht nur der grösste, sondern mit einer Tiefe von mehr als 1600 m der *tiefste* und mit einem Alter von mehr als 20 Millionen Jahren der mit Abstand *älteste* Süsswasserkörper der Erde. Zusammen mit den grossen ostafrikanischen Seen gehört der Baikalsee zu einer speziellen Klasse von tektonisch angelegten Riftseen, deren Beckenabsenkung eng an Bewegungen entlang grosser kontinentaler Störungszonen gekoppelt ist. Topographische Schwellen mit ausgedehnten Flachwasserbereichen (Tiefe <300 m) unterteilen den Baikalsee in ein Nord- (920 m), Mittel- (1630 m) und Südbecken (1430 m), deren Tiefenwasserbereiche dynamisch als weitgehend eigenständige limnologische Einheiten betrachtet werden können.

Die Anlage als Riftsee erklärt das für einen See ausserordentliche Alter. Der Baikalsee enthält Sedimentablagerungen von über 7 km Mächtigkeit, die ein einzigartiges Umweltarchiv darstellen und die Klimaveränderung im Kerngebiet des asiatischen Kontinentes seit dem frühen Miozän aufzeichnen.

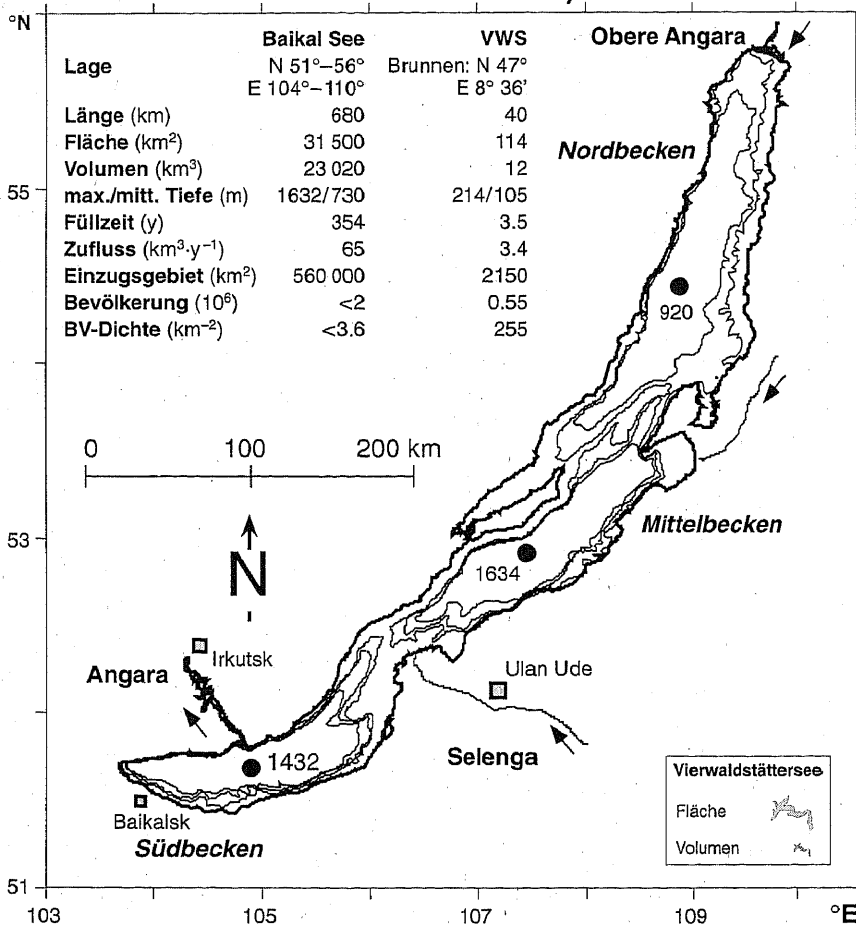


Fig. 1  
Im Baikalsee, dem weltweit grössten limnischen Ökosystem, sind mehr als 2500 endemische Arten beheimatet. Von der Fläche ist er ca. 280- und vom Volumen her 1920mal grösser als der Vierwaldstättersee (VWS), einem typischen alpinen Mittellandsee. Diese Angaben unterstreichen die im Vergleich zu den Schweizer Seen globale Bedeutung dieser grössten Oberflächensüswasserressource der Erde.

In der langen Zeit des Bestehens hat sich im See, im Russischen treffend als «Perle Sibiriens» bezeichnet, eine einmalige Flora und Fauna entwickelt. Heute zählt der See mehr als 2500 *endemische*, d.h. nur hier vorkommende, *Arten*, was ihn zum *artenreichsten limnischen Ökosystem* der Erde macht. Entgegen den Schlagzeilen in Medienberichten ist der See auch heute noch in einem weitgehend naturnahen Zustand und die direkte anthropogene Beeinflussung ist sehr gering. So leben weniger als 2 Millionen Menschen im weiten Einzugsgebiet des Baikalsees und nur rund ein Viertel davon ist direkt am See ansässig. Die Bevölkerungsdichte liegt im Bereich von Wüstengebieten ( $<3.5$  Personen/km<sup>2</sup>), entsprechend ist das Wasser im Baikalsee von *hervorragender Qualität* und kann ohne jede Aufbereitung getrunken werden.

Zwar leiten zellstoffverarbeitende Fabriken bei Baikalsk ihre ungeklärten Abwässer ins Südbecken ein und verunreinigen den Baikalsee lokal, doch fällt diese «direkte» Verschmutzung alleine der Grösse des Gewässers wegen nicht ins Gewicht.

Hingegen mehren sich Anzeichen diffuser Veränderungen im See: so scheinen unter anderem die Nährstoffkonzentrationen anzusteigen. Da diese schleichenden Veränderungen den See als Ganzes betreffen, sind sie im Gegensatz zu den lokalen Effekten möglicherweise von ökologischer Tragweite.

Wegen seiner Bedeutung als weltweit einzigartiges limnisches Ökosystem wurde der Baikalsee im Dezember 1996 in die UNESCO Liste der «*world heritage sites*» aufgenommen und damit der internationalen Gemeinschaft zum Schutz empfohlen.

### Die Schweiz & BICER (Baikal International Center of Ecological Research)

Die Forschungsinitiative *BICER* versucht dieser Verantwortung auf internationaler Ebene nachzuleben und fördert Massnahmen zum *Schutze des*

*Baikalsees* auf breiter Ebene. Dr. Michail Grachev, Vorsteher des Limnologischen Institutes in Irkutsk und leitender BICER Direktor, hat 1988 die Zeichen der Zeit erkannt und die Initiative ergriffen, *BICER als ein internationales Forschungszentrum* zu gründen.

Dank der wissenschaftlichen Zusammenarbeit mit ausländischen Partnern vermag das Limnologische Institut als praktisch einziges Institut in Irkutsk weiterhin hochklassige Forschung am Baikalsee zu betreiben. Ungeachtet des sozialen und politischen Umbruchs in Russland stellt es sich der ökologischen Verantwortung, die sich aus der Einmaligkeit des Sees ergibt.

Auf Anfrage des Limnologischen Institutes in Irkutsk stiess die Schweiz, vertreten durch die Abteilung für Umweltphysik der EAWAG und die ETH, 1992 als sechstes und vorläufig letztes Mitglied zu BICER, um die seenphysikalische und transdisziplinäre Expertise der EAWAG, Seen als ganzheitliche Systeme zu beschreiben, in die Forschung am Baikalsee einfließen zu lassen. Neben der Schweiz sind Russland, Belgien, Grossbritannien, Japan sowie die University of South Carolina (USA) als Gründungsmitglieder in BICER vertreten.

### Schweizer Forschungs- schwerpunkte am Baikalsee

Die schweizerische Forschung hat sich bis anhin auf den Austausch und den Transport von Wasser und Stoffen im Baikalsee konzentriert, wobei die *Tiefenwasserbildung* und die *rezente Sedimentation* im Vordergrund standen.

Wissenschaftlich gesehen war das schweizerische Engagement sehr erfolgreich. So konnten unter anderem erstmals jene Mischungsprozesse beschrieben werden, durch die jedes Jahr mehr als 10% des Tiefenwassers im Baikalsee durch Oberflächenwasser ersetzt werden (Fig. 2) [1, 2, 3]. Diese grosse Tiefenwassererneuerung führt dazu, dass der Baikalsee bis in seine grössten Tiefen nahezu mit Sauerstoff

gesättigt ist (Fig. 2), ein Zustand von dem viele Schweizer Seen trotz aller Bemühungen weit entfernt sind.

Der Baikalsee ist, wie die schweizerischen Seen, ein sogenannter «kalter See», dessen Temperaturen im Tiefenwasser unterhalb der Sprungschicht immer nahe bei 4 °C liegen, also jener Temperatur, bei der Süsswasser bei atmosphärischem Druck seine grösste Dichte aufweist ( $T[\rho_{\max}]$ ). In solchen «kalten» Wasserkörpern ist die Dichte der Wassersäule nicht alleine durch die Verteilung der Temperatur, sondern auch durch die Menge der im Wasser gelösten Ionen bestimmt. Diese für ein Frischwassersystem wie den Baikalsee (~100 mg gelöste Ionen pro Liter) auf den ersten Blick überraschende Feststellung erklärt sich aus der Tatsache, dass die Dichteänderungen ( $\Delta\rho$ ) infolge der im Tiefenwasser typischen geringen Temperaturvariation ( $\Delta T < 0.3$  °C) äusserst gering sind, da der Gradient  $\Delta\rho/\Delta T$  bei 4 °C verschwindet. Werden einem solchen Wasserkörper Ionen zugeführt, erhöht sich die Dichte in einem Masse, dass selbst höhere Temperaturen die Dichtezunahme nicht mehr ausgleichen können. Die Dichtestruktur in der Wassersäule ist nun auch oder vorwiegend durch den Ionengradienten bestimmt. Im Baikalsee wird die Berechnung der Wasserdichte zusätzlich dadurch erschwert, dass  $T(\rho_{\max})$  eine Funktion des hydrostatischen Druckes ist und mit steigender Tiefe stark abnimmt [4].

Unsere Untersuchungen zeigen, dass den *gelösten Ionen eine zentrale Rolle bei der Tiefenwassererneuerung* im Baikalsee zukommt. Die massgeblichen Unterschiede im Ionengehalt verteilen sich über eine Wassertiefe von mehr als 1000 m und sind mit weniger als 0.5 mg/kg ausserordentlich klein (Fig. 2). Dennoch bestimmen sie den Transport von Oberflächenwasser bis in eine Tiefe von 400 m, während in grösseren Tiefen Temperaturgradienten den Wasseraustausch zur Hauptsache kontrollieren (Fig. 2, 3) [4, 5, 6].

Die Daten zeigen jedoch auch, dass die Zuflüsse dem Tiefenwasser des

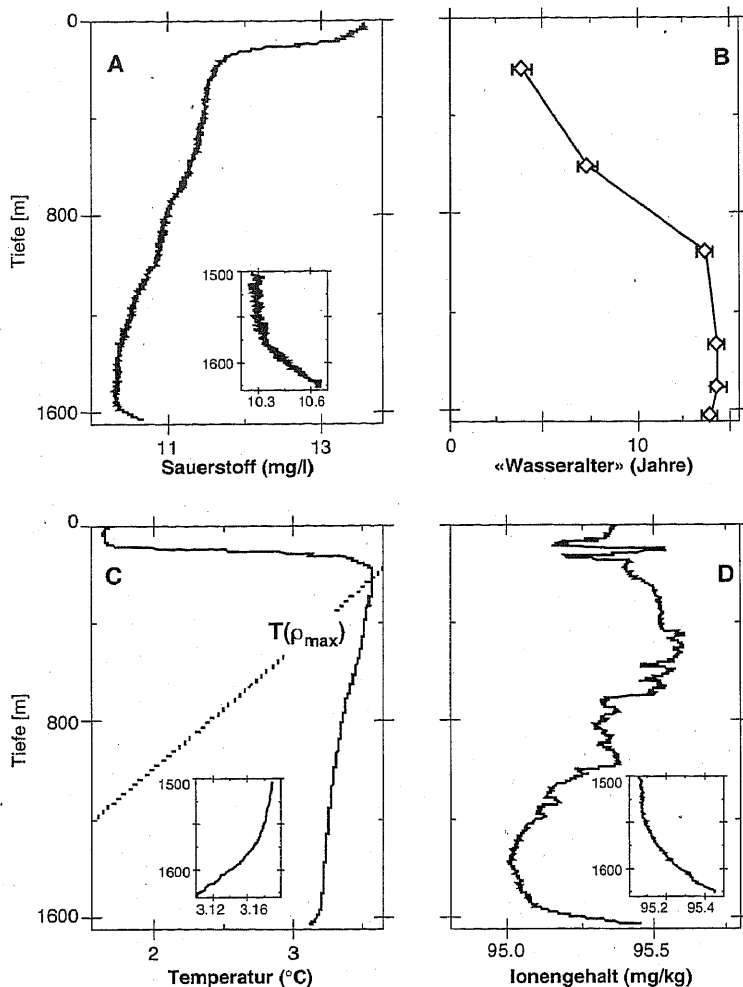


Fig. 2  
Tiefenwasseraustausch

A: Der Baikalsee weist über die ganze Wassersäule hinweg hohe Sauerstoffgehalte auf, die Konzentrationen betragen überall mehr als 80% der Sättigungskonzentration an der Oberfläche (A). Kleines Bild: Unmittelbar über dem Seegrund steigt die Sauerstoffkonzentration ( $[O_2]$ ) ähnlich wie in den Ozeanen und im krassen Gegensatz zu Schweizer Seen sogar an.

B: Im Bodenwasser nimmt das Wasseralter (WA), ein zeitliches Mass dafür, wann das Wasser das letzte Mal mit der Atmosphäre Gase ausgetauscht hat, ab. Die hohe  $[O_2]$  und das kleine WA direkt über Grund zeigen, dass das Bodenwasser durch solches von der Oberfläche ( $O_2$  gesättigt, verschwindendes WA) advektiv, d.h. von der Seite her, ersetzt wird.

C/D: Jeder Prozess, der Tiefenwasser erneuert, hinterlässt charakteristische Spuren in der Temperatur- und der Ionenverteilung der Wassersäule. Das junge und sauerstoffreiche Bodenwasser im Mittelbecken des Baikalsee ist kälter (C) und enthält mehr Partikel und Ionen (D) als das überliegende Wasser.

Wasser mit ähnlichen Eigenschaften findet sich in einem Unterwasser-Canyon, unmittelbar dort, wo die Selenga aus ihrem Delta in den See übertritt und sich mit Seewasser mischt. Da dieses Mischwasser im Frühjahr kälter, ionen- und partikelreicher ist als das offene Seewasser, hat es eine deutlich grössere Dichte und sinkt entsprechend entlang der Canyonmorphologie in die Tiefe, wo es sich über die tiefsten Bereiche des Mittelbeckens ausbreitet.

Baikalsees möglicherweise mehr Ionen zuführen, als dieser durch seinen Abfluss verliert. Obwohl diese Veränderungen äusserst klein sind, könnte der langsam steigende Ionengehalt die Tiefenwasserbildung und damit den Sauerstoffhaushalt empfindlich stören, was letztlich die Mischungsdynamik im See ändern und so das Ökosystem als Ganzes gefährden dürfte (Tab. 1).

Trotz seines im allgemeinen ausgezeichneten Zustandes lassen sich im Baikalsee heute Anzeichen für schlechende Veränderungen nachweisen: Seit einigen Jahren dringt eine Kiesel-

algenart, die für nährstoffreiche Flüsse typisch ist, aus Deltagebieten langsam ins offene Wasser vor. Die eindringenden Algen scheinen ein Indiz dafür zu sein, dass sich lokal die Verfügbarkeit von Nährstoffen erhöht. Die gesteigerten Nährstoffkonzentrationen und das vermutete Salzgleichgewicht im Baikalsee können als Ausdruck der zunehmenden zivilisatorischen Einflussnahme des Menschen auf den Baikalsee gewertet werden. So dürfte die verstärkte Urbanisierung bei der landwirtschaftlichen Nutzung der Flüsse im Einzugsgebiet die Boden-

erosion verstärken, und durch die Zuflüsse den Nährstoff- und Salzhalt des Baikalsees negativ beeinflussen. Da die mittlere Wasser-aufenthaltszeit, jene Zeit, in der die Zuflüsse das Wasser im Baikalsee einmal austauschen, rund 350 Jahre beträgt, sind solche Störungen nur schwer als solche zu erkennen und bleiben entsprechend lange im System erhalten. Dies bedeutet aber, dass Veränderungen im See auf den für menschliche Gesellschaften typischen Zeitskalen von einigen wenigen Jahren als unumkehrbar anzusehen sind...

Prozesse der Tiefenwasser-erneuerung	Effekte Temperatur	Ionengehalt
Zuflüsse	-	+
Hydrothermale Aktivität	+	+
Thermohaline Fronten	+,-	+
Austausch zwischen Becken	-	0,-
<b>Total</b>	<b>«Null?»</b>	<b>+</b>

Tab. 1

Die Prozesse, die nachgewiesenermassen Tiefenwasser erneuern, sowie deren Effekte auf die Temperatur- und Ionenverteilung im Baikalsee sind in der Tabelle zusammengestellt: Einige Prozesse erwärmen, andere kühlen das Tiefenwasser, so dass sich die einzelnen Effekte in ihrer Wirkung kompensieren und den mittleren Energieinhalt des Sees nicht ändern. Dies stimmt mit Temperaturmessreihen überein, welche zeigen, dass die Tiefenwassertemperatur langfristig konstant bleibt.

Im Gegensatz dazu scheinen alle bekannten Mischungsprozesse dem Tiefenwasser Ionen zuzuführen und die Mineralisation im Seewasser zu erhöhen. Dies bedeutet entweder, dass Mischungsprozesse, die dem Tiefenwasser frisches Wasser zuführen, oder andere «Ionensenken» bis heute unentdeckt geblieben sind. Oder, der Ionengehalt im Tiefenwasser steigt langsam aber stetig an. Trifft die zweite Interpretation zu, könnte dies langfristig die Mischungsdynamik ändern, da die Ionenverteilung den Wasseraustausch im Baikalsee massgebend mitbestimmt.

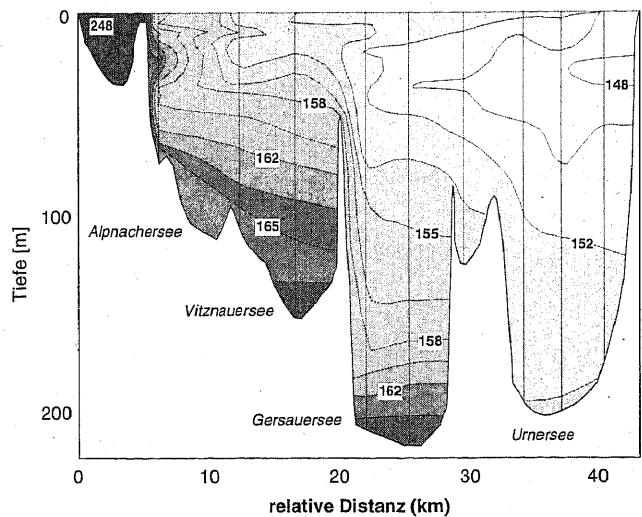
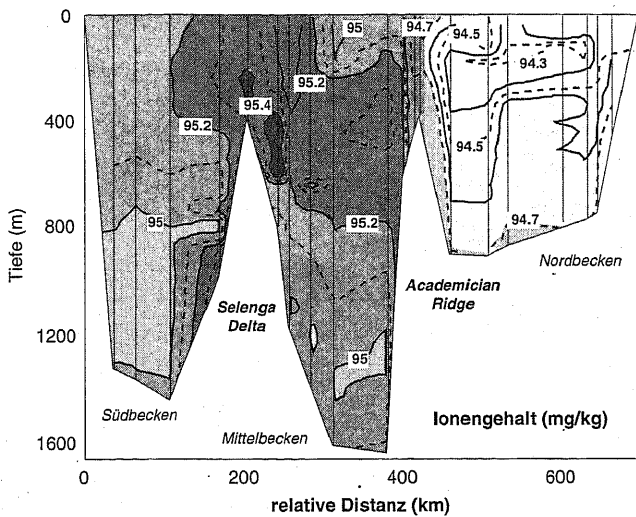


Fig. 3  
Sowohl im Baikalsee (links) als auch im Vierwaldstättersee (rechts) wird die Dichtestruktur ( $\rho$ ) nicht allein durch die Temperatur ( $T$ ), sondern auch durch die Verteilung der Ionen ( $S$ ) bestimmt. Weiter bilden sich in den Seen nicht nur vertikale, sondern auch horizontale  $\rho$ -,  $T$ - und  $S$ -Gradienten aus. Diese Gradienten treiben die Tiefenwasserbildung an und führen dazu, dass sich in beiden Systemen ähnlich wie in den Ozeanen eine thermo-haline Zirkulation aufbaut.

Die unterschiedlichen Ionengehalte in den einzelnen Becken des VWS werden durch die unterschiedlichen Salzgehalte der Zuflüsse (Alpnacher Aa [kalkhaltiges Einzugsgebiet: stark mineralisiert, Alpachersee] und Reuss [kristallines Einzugsgebiet: kleiner Ionengehalt, Urnersee]) aufrecht

erhalten. Der Hauptzufluss des Baikalsees, die Selenga, entwässert ins Mittelbecken und hat eine rund 50% höhere Mineralisation als das Seewasser. Demgegenüber führt die Obere Angara, der zweitgrösste Zufluss, dem Nordbecken frischeres Wasser zu. Entsprechend ist das Wasser im Mittelbecken das am stärksten mineralisierte im Baikalsee.

Es sind die unterschiedlichen Grössenordnungen der räumlichen Salzgradienten in beiden Seen zu beachten: Obwohl der Baikalsee rund 10mal tiefer und 20mal länger ist als der Vierwaldstättersee, sind die Unterschiede in der Ionenkonzentration rund 200mal kleiner. Damit sind die massgebenden Ionengradienten im Baikalsee typischerweise um 3 bis 4 Grössenordnungen kleiner als in Schweizer Seen.

Um diese schleichenden Veränderungen im Baikalsee quantitativ zu erfassen und deren mögliche Auswirkungen kritisch bewerten zu können, hat sich BICER entschlossen, seine zukünftigen Forschungsaktivitäten vermehrt auch auf die über 330 Zuflüsse und das Einzugsgebiet des Baikalsees auszurichten, um deren Einfluss auf die interne Seedynamik eingehender zu studieren. In einem ersten Schritt werden die Ionen- und Nährstofffrachten der 3 Hauptzuflüsse hochaufgelöst bestimmt, um daraus entsprechende Massenbilanzen für den Baikalsee als Ganzes erstellen zu können.

### Ein Blick in die Zukunft der Forschung am Baikalsee

«Rein» wissenschaftliche Projekte am Baikalsee haben weiterhin gute Aussichten, von nationalen und internationalen Gremien gefördert zu werden. Jedoch kann aus diesen Projektgeldern die für die Forschung notwendige Infrastruktur, wie Schiffe, andere Transportmittel und analytische Ausrüstung, nicht erhalten werden, da die Kredite im allgemeinen für Forschung und

nicht für den russischen Struktur-erhalt gesprochen werden. In den vergangenen 6 Jahren konnte die für die Forschung zwingend notwendige Infrastruktur über BICER Mittel funktionstüchtig erhalten werden. Da diese Mittel aber bald versiegen werden, wird der Unterhalt der russischen Infrastruktur immer schwieriger, womit der Forschung am Baikalsee die strukturelle Basis entzogen wird. Diese Entwicklung könnte bereits kurzfristig jede Forschung am Baikalsee stark beeinträchtigen, wenn nicht gar verunmöglichen.

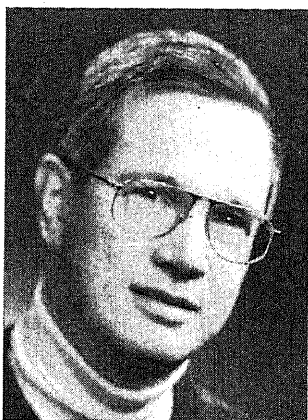
Es müssen deshalb Mittel und Wege erschlossen werden, die es ermöglichen, speziell die Infrastruktur der Institute am Baikalsee zu erhalten. Diese «neue» Art von Förderung sollte sich weit weniger an Forschungszielen als viel mehr an der strukturellen Notwendigkeit vor Ort orientieren.

Aus Erkenntnis und kritischem Wissen entspringt immer Verantwortung. Die EAWAG, die ETH und damit auch die Schweiz haben die Verantwortung übernommen, mit ihren Forschungsarbeiten das Vermächtnis der «world heritage site» Baikalsee in

der Gesamtheit des heutigen natürlichen Zustands zu bewahren und die einzigartige Flora und Fauna für die Nachwelt zu erhalten. Dies wird um so dringender, als davon auszugehen ist, dass sich in Zukunft der anthropogene Druck auf die verbleibenden intakten Ökosysteme Russlands verstärken wird.

- [1] F. Peeters, R. Kipfer, R. Hohmann, M. Hofer, D.M. Imboden, G.G. Kodenev and T. Khozder (1997): Modelling transport rates in Lake Baikal: gas exchange and deep water renewal, *Env. Sci. Technol.* 31, 2973–2982.
- [2] R. Hohmann, M. Hofer, R. Kipfer, F. Peeters and D.M. Imboden (1997): Distribution of helium and tritium in Lake Baikal, *J. Geophys. Res.* 42, 841–855.
- [3] R. Hohmann (3. August 1994): Dem Tiefenwasser des Baikalsees auf der Spur, *Neue Zürcher Zeitung* 48.
- [4] F. Peeters, G. Piepke, R. Kipfer, R. Hohmann and D.M. Imboden (1996): Description of stability and neutrally buoyant transport in freshwater lakes, *Limnol. Oceanogr.* 41, 1711–1724.
- [5] R. Hohmann, Deep-Water Renewal in Lake Baikal, ETH Zürich, Diss. ETH Nr. 12 029, 1997.
- [6] R. Hohmann, R. Kipfer, F. Peeters, G. Piepke, D.M. Imboden and M.N. Shimaraev (1997): Processes of deep water renewal in Lake Baikal, *Limnol. Oceanogr.* 42, 841–855.

# Vergangenheit und Gegenwart der Schweizer Gewässer



Rudolf Koblet

*Der vertraute Anblick unseres Gewässernetzes ist das Ergebnis einer langen Entwicklung von Gewässern und Mensch. Seit Jahrtausenden nutzt der Mensch die Gewässer und ebensolange versucht er, sich vor ihrer Urgewalt zu schützen. Von besonderem Interesse sind die dadurch verursachten Veränderungen in den letzten Jahrhunderten, prägen doch sie vor allem das Aussehen unseres heutigen Lebensraumes.*

Wenn man alte Karten unseres Landes anschaut oder Gemälde aus früheren Jahrhunderten, so entsteht ein ganz ungewohntes Bild: Zum einen wirkt die Landschaft offen und leer; die Siedlungen sind klein, dicht gedrängt, dazwischen breiten sich freies Feld und Wald aus. Zum anderen gibt es kaum geradeaus fliessende Flüsse. Die Wasserläufe winden sich durch die Ebenen, verzweigen sich, aktive Arme mit strömendem Wasser und abgeschnittene, temporäre Seen wechseln sich ab. Heute ist dies anders. Unsere Gewässer sind korrigiert, begradigt,

kanalisiert, und die Siedlungen sind viel grösser geworden (Fig. 1).

Nur an wenigen Orten haben Mäander und verzweigte Flussstrecken in der Schweiz überlebt. Zum Beispiel der Rotten zwischen Rhonegletscher und Gletsch, der Hinterrhein bei Rhäzüns oder der Vorderrhein in der Ruinaulta bei Flims.

Aber es gibt auch andere, ursprünglich aussehende Flussgebiete, die kaum natürlichen Ursprungs sind. Ein Beispiel ist die Maggia zwischen Cevio und Giumaglio – eine viele Kilometer lange Kieswüste mit sich verzweigenden Flussarmen, eine sog. «Fiumara». Der Kahlschlag eines Waldes bei Campo und die nachfolgende Trift, d.h. das Mitschwemmen der Baumstämme in der Rovana, einem Zufluss der Maggia, haben um 1850 ein prähistorisches Rutschgebiet reaktiviert. Seither rutscht das Dorf Campo mit Unterbrüchen talwärts. Die Kirche wurde in den letzten hundert Jahren horizontal um knapp 30 m, vertikal um 6 m verschoben (Fig. 2).

Es rutscht auch immer neues Geschiebe ins Bett der Rovana, Materialnachschieb für das nächste Hochwasser! Vielleicht ist die Rutschung von Campo eine der Ursachen für die Verwilderung des Maggialaufes unterhalb der Rovanamündung. Die zahllosen anderen Kahlschläge im Gebiet der oberen Maggia und die resultierenden Holztriften (d.h. das Abschwemmen des geschlagenen Holzes in den Bächen und Flüssen) werden das ihre mit beigetragen haben.

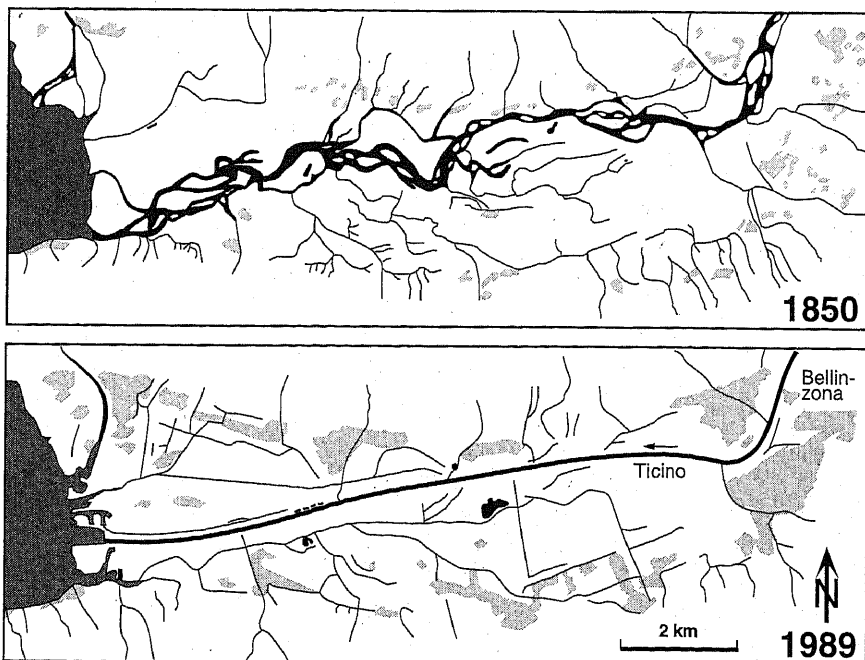


Fig. 1  
Der Ticino in der Magadino-Ebene 1850 und 1989 (links der Lago Maggiore). Die schraffierten Siedlungsgebiete dehnen sich heute immer weiter in die meliorierte Flussebene hinein [4, 6].

## Warum hat der Mensch die Mäander zerstört?

Ein Fluss, ein Wasserlauf in einer Ebene, fliesst in der Natur kaum je gerade, sondern es bilden sich regelmässige, unterschiedlich grosse Schlingen, Mäander also. Diese Gebilde wechseln ständig ihre Form (Fig. 3).

Das Gefälle solcher gewundener und oft auch verzweigter Flussläufe ist um vieles kleiner als bei der theoretischen Geradföhrung. Solange nur Wasser fliesst, gibt es kaum Probleme. Wenn aber die Hochwasser Erde und Steine von den Bergen bringen, lagern sie sich dort ab, wo das Gefälle am kleinsten ist. Das Wasser staut sich, die Ebene wird sumpfig und der Fluss sucht sich neue Wege. Wenn dort Menschen leben, wird das zum Problem, zur Katastrophe, alle paar Jahre von neuem.

Einst hielten sich die Menschen fern von den Flussebenen und besiedelten nur die Talhänge, wohl wissend, dass der Fluss ein unberechenbarer Geselle ist. Auch die Wege von Ort zu Ort mieden die Talböden. Im ausgehenden Mittelalter vergrösserte sich dann aber die Zahl der Bewohner stark. Im Vergleich zu heute gab es zwar noch sehr viel Platz, lebte doch um 1500 erst etwa der zehnte Teil der heutigen Bevölkerung innerhalb der heutigen Grenzen unseres Landes [2]. Trotzdem

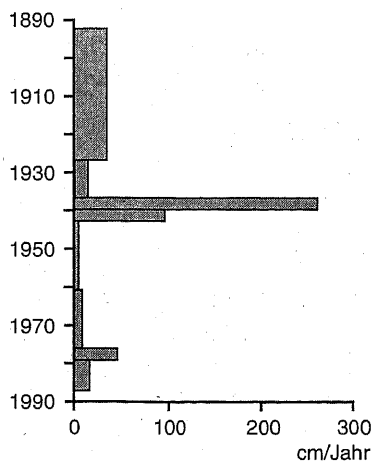


Fig. 2  
Der Weg der Kirche von Campo Cimalmotto im Rutschgebiet 1892–1897. Schräge Rutschbeträge pro Jahr [3, 9].

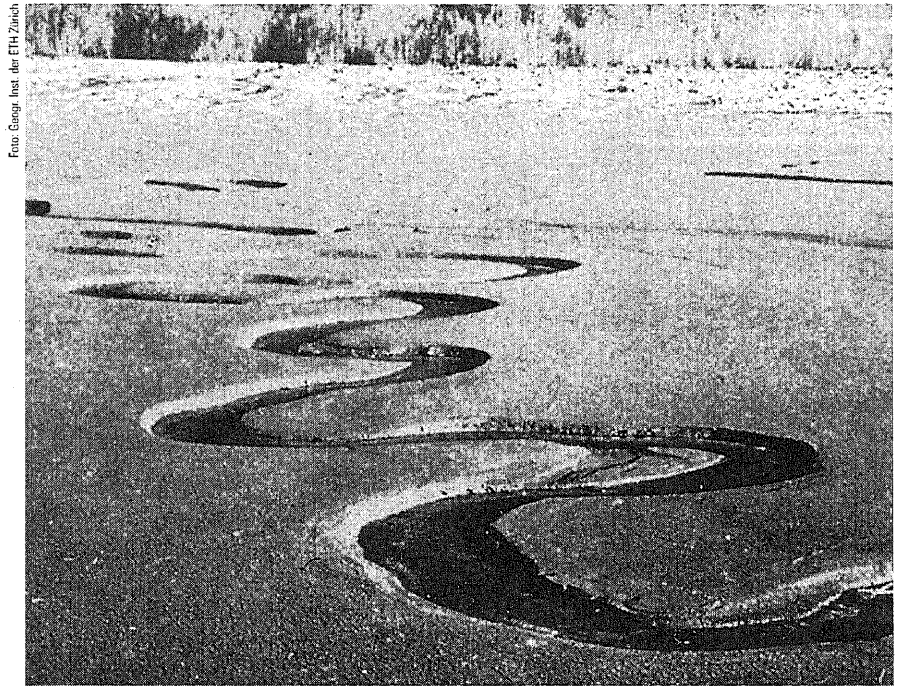


Fig. 3  
Mäander im Uferschlick des Klöntalersees. Ein ursprünglicher Anblick, der heute selten geworden ist.

war das Land überbevölkert und man war auf mehr Kulturland angewiesen, um alle Bewohner ausreichend ernähren zu können. So wagte man sich allmählich ins Reich der Flüsse hinein. Erst zögernd, später in grösserem Ausmass nahm man die unsicheren, aber fruchtbaren Flussauen in Besitz. Im Emmental entstanden so die Schachensiedlungen. Anfangs stellten nur Tagelöhner ihre einfachen Katen auf; mit der Zeit entstanden aber richtige Dörfer im gefährdeten Gebiet. Man war sich der Gefahr von Überschwemmungen bewusst; um die Ursachen kümmerte man sich wenig [3]. Erst später begannen ernsthafte Bemühungen um die Korrektur der Gewässer, die die Siedlungen und Kulturen nachhaltig schützen konnten, indem man die Flüsse streckte und in Dämme fasste.

### Chronik des Schreckens

Die Chronik der Schäden von Unwettern (Hochwasser, Rutschungen) in der Schweiz ist erschreckend. Die Zahl der Ereignisse pro Jahrhundert nimmt seit mehr als tausend Jahren zu, mit einer witterungsbedingten Spitze im 16. Jahrhundert [7].

Es mögen zwar nicht alle Zeugnisse einstiger Überschwemmungen

die lange Zeit seither überstanden haben; zudem wurden früher wohl nur grosse Schadenhochwasser protokolliert. Solange die Flussniederungen weder kultiviert noch besiedelt waren, blieben die auftretenden Schäden natürlich gering. Aber auch wenn man alle diese Überlieferungsprobleme berücksichtigt, ändert sich nichts am generellen Trend, dass die schweren Hochwasser seit sehr langer Zeit immer häufiger wurden (Fig. 4).

Anschaulicher und lebensnaher als alle Zahlen sind jedoch die Worte der

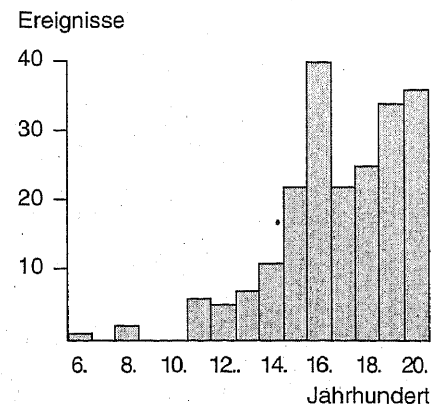


Fig. 4  
Sehr schwere und katastrophale Unwetterereignisse in der Schweiz vom 6. bis 20. Jahrhundert (bis 1988). Die Auswirkungen der schlechten Witterung Ende des 16. Jahrhunderts sind deutlich sichtbar [7].

Chronisten. Zwei Zeitzeugen aus der Linthebene, als die Linth noch am Walensee vorbei floss:

Noch steht vor der Seele des Verfassers das traurige Bild dieser Sumpfwüste. Eine öde Fläche, weder See noch Land, voll Modergeruch und Froschgeschrei. Die Anwohner sahen blass und kränklich aus. Alljährlich, wenn der Frühling wiederkehrte, waren die Dörfer voll schlotternder Fieberkranker [1].

Um aber dieses Unglück in seiner ganzen furchtbaren Grösse zu überblicken, muss man sich in die Lage der beklagenswürdigen Einwohner hineindenken. (...) Die Strassen von Wallenstadt und Wesen sind im Sommer nur für Schiffe brauchbar; die Überschwemmung fluthet in die Erdgeschosse der Häuser, und ersteigt schon da und dort die ersten Stockwerke; da dann im zurückgelassenen Schlamm die Sommerhitze verpestende Dünste entwickelt und eckelhafte Insekten erzeugt. Man kann wohl denken, wie das auf die Gesundheit wirkt [8]!

Gefürchtet waren bis ins letzte Jahrhundert auch die Ausbrüche des Märjelensees, der damals ein vom Eis gestauter Randsee des Aletschgletschers war. Von 1813–1913 lief er achtmal vollständig und 36 Mal teilweise aus. Ein zufälliger Zeuge eines Märjelensee-Ausbruches, der Dichter Josef Viktor Widmann, schildert das Ereignis von der Belalp aus so:

Noch hatten wir den Gasthof nicht aus dem Gesicht verloren, als plötzlich vom Gletscher her ein donnernes Getöse erscholl, erst ein Krach und dann ein fortgesetztes Tosen. Erstaunt blickte ich hinüber. (...) Am jenseitigen Ende des Gletschers wälzte sich, zwischen dem Gletscher und dem Berge, ein starker Strom schmutziggelben Wassers mit furchtbarer Schnelligkeit in die Tiefe, da und dort Wasserfälle bildend, wie das abschüssige Terrain dergleichen mit sich brachte. Wer sich in dem Augenblick, da der Strom aus dem von ihm durchfressenen Ende der Gletscherwand hervorbrach, auf seinem Wege befunden hätte, wäre verloren gewesen; wie eine Schlange würde der Strom ihn ereilt und mit sich fortgerissen haben. [10]

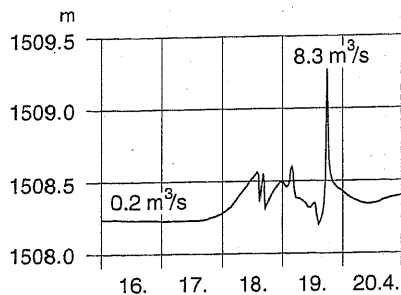


Fig. 5  
Was der Chronist oben beschrieb, hier analog als Diagramm: Die Wirkung von Lawinen-niedergängen auf den Wasserstand der Ova da Cluozza (Nationalpark, Zernez) im April 1962 (Pegelhöhe 1509 m ü. M.). Bei Durchbrüchen von Wassermassen durch stauende Hindernisse können unglaubliche Höchstwasserstände entstehen. (Quelle: unveröff. Limnigraphenstreifen der Landeshydrologie und -geologie in Bern).

So lebte man noch im letzten Jahrhundert in den Bergen. Während Jahrhunderten brach der vom Allalingletscher gestaute Mattmarksee (ob Saas-Almagell) im Schnitt alle zehn Jahre aus, der Märjelensee im 19. Jahrhundert fast jedes zweite Jahr [3, 5]. Da war die Angst wohl Dauergast, man lebte mit ihr, vor der Natur schützen konnte man sich ohnehin nicht. Heute ist dies anders geworden. Die Natur ist zurückgedrängt. Sie spielt in unserem täglichen Fühlen und Denken nicht mehr die elementare Rolle wie in früheren Jahrhunderten. Der Kampf und die Verbundenheit mit der Natur, ausgedrückt als Furcht und Verehrung, sind weit zurückgedrängt, unterbrochen. Die Machbarkeit hat das Geschehenlassenmüssen der Vergangenheit abgelöst. Ist es vielleicht gerade diese Entfremdung von der Natur, das zunehmende Mass vermeintlicher Sicherheit, die uns bei unvorhergesehenen Launen der Gewässer und Veränderungen in der Umwelt überhaupt so Angst macht?

Diese Entfremdung ist aber auch Auslöser einer Gegenbewegung. Die radikalen Formen der Gewässerbewältigung der Vergangenheit bereiten heute Unbehagen, und man möchte

den Flüssen und Bächen wieder mehr Raum, mehr Eigenleben schaffen. Auch die EAWAG engagiert sich für diese Form der Gewässererneuerung.

- [1] Aufruf an die Schweizerische Nation zur Rettung der durch Versumpfung ins Elend gestürzten Bewohner der Gestade des Wallensees..., Merz 1807. In: «Das Linthwerk – ein Stück Schweiz» (1993). Hg.: H.C. Escher von der Linth-Ges., Mollis, S. 9–50; S. 11 ff.
- [2] Bergier, J.-F. (1990): Wirtschaftsgeschichte der Schweiz. Zürich, 2. Aufl., S. 28.
- [3] Koblet, R.: Spiel mit dem Wasser – Spiel mit dem Feuer? Geschichte und Gegenwart der Wasser in der Schweiz. Manuskript 1998.
- [4] Landeskarte der Schweiz, Wabern-Bern, Blatt 1313, Ausg. 1989.
- [5] Lütsch, O. (1926): Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge. Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes. Schweiz. Wasserwirtschaftsverband, Schr. Nr. 14, Zürich.
- [6] Martinoli, G. (1896): La correzione del fiume Ticino dal Riale di Sementina al Lago Maggiore. Einsiedeln.
- [7] Röthlisberger, G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. Ber. Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft Nr. 330.
- [8] Schuler, M. (1836): Die Geschichte des Landes Glarus. Zürich. In: Hösli, H. (1966), Wandlungen der Linthebene – Zur Vollen-dung des Linthwerkes. Geogr. Helv. 21, 97–104.
- [9] Trucco, G. (1989): Verbauung und Umleitung der Rovana. Wasser, Energie, Luft 81, 173–182.
- [10] Widmann, J.V. (1896): Spaziergänge in den Alpen. 3. Aufl., Frauenfeld; S. 256.

## Von der EAWAG zur EPFL



Hauke Harms und Christof Holliger wurden an die Abteilung für Kulturtechnik nach Lausanne an die EPFL berufen.

Hauke Harms (links), seit 5 Jahren an der Abteilung für Mikrobiologie, wird sich ab 1. Sept. 1998 als Assistenz-Professor für Bodenmikrobiologie im Laboratoire de Pédologie den bakteriellen Aktivitäten in terrestrischen Systemen widmen.



Christof Holliger (rechts), seit sechs Jahren an der Abteilung Biogeochemie, wird sich ab 1. Oktober 1998 als Assistenz-Professor in Umweltbiotechnologie am Laboratoire Génie Biologique mit Schadstoffabbau und Industrieabwasserreinigung beschäftigen.

Giulio P. Genoni

# Die Energiedosis macht, ob ein Ding Gift ist



Giulio Genoni\*

\* seit Februar 1998: Ch. Gabriel 4a, CH-2034 Peseux, E-mail: genoni@bluewin.ch

Die Chemie kommt heute den verschiedensten menschlichen Aktivitäten zugute. Dass ca. 100 000 Substanzen industriell produziert werden und 100–200 jährlich dazu kommen, ist jedoch mit Toxizitätsrisiken für Mensch und Umwelt verbunden. Dies sowohl in Abhängigkeit der Giftigkeit der einzelnen Stoffe als auch der in Umlauf gebrachten Mengen. «Die Dosis macht, ob ein Ding Gift ist», sagte schon Paracelsus. Seine Aussage war allgemein gemeint und es stellt sich auch sofort die ebenfalls allgemeine Frage: Weswegen «macht die Dosis, ob ein Ding Gift ist»?

Diese Frage ist nicht leicht zu beantworten, da die Giftigkeit nicht nur eine Frage der Dosis, sondern auch der Chemikalie ist. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass ein Stoff sowohl positive wie negative Wirkungen haben kann.

## Was selten ist, ist teuer

Äthanol z.B. ist für Laborratten erst bei 3000 mg/kg akut toxisch, während Pestizide, Zyanid oder ein starkes Schlangengift schon in millionenfach kleineren Dosen tödlich sein können. Man beachte, dass die toxischen Auswirkungen dermassen unterschiedlicher Stoffe wie Äthanol oder Schlangengifte doch etwas Gemeinsames haben: Sie manifestieren sich, wenn die Dosis oder das Vorkommen des Stoffes in der Umwelt oder im Organismus *ungewöhnlich* ist. Gewiss ist Äthanol ein gewöhnlicher und sogar natürlich vorkommender Stoff, aber in der Natur kommt er nie in hohen Konzentrationen vor, wie ihn der Mensch durch Destillation gewinnt. Pflanzliche Toxine und Tiergifte sind ebenfalls natürliche Stoffe, sind aber sehr selten ausserhalb den spezialisierten pflanzlichen oder tierischen Organen, die sie synthetisieren. Pestizide sind neue, nicht natürliche Stoffe, die erst in neuerer Zeit durch die chemische Industrie synthetisiert werden.

Solche seltenen und manchmal komplexen Stoffe können deswegen einen Effekt ausüben, weil sie aufkonzentriert oder neu synthetisiert

worden sind. Und das Wichtige daran: Aufkonzentrieren und Synthetisieren kostet Energie!

Es geht da nicht bloss um die thermodynamische Energie der jeweiligen chemischen Reaktion. Energie ist auch nötig, um den einwandfreien Verlauf der Reaktion zu ermöglichen (Extrahierung, Regulierung, Speicherung, und Unterhalt aller Bestandteile), Energie, die als «graue Energie» im Produkt steckt.

Biologische und chemische Wandlungsprozesse können auch als Energietransfer betrachtet werden (Fig. 1), z.B. in der Nahrungskette Gras–Hase–Raubvogel, oder in einer chemischen Synthese oder Aufkonzentration (Rohstoff–Produkt). Die notwendige zugeführte Energie wird im Durchfluss durch das System zum grössten Teil als Wärme abgegeben (in Organismen ist dies die Wärme der Atmung). Bei jeder Stufe nimmt die verbleibende Energie ab, während der «relative Energiepreis» der nützlichen Arbeit zunimmt. Gras, bzw. gewöhnliche Stoffe haben einen *tiefen* relativen Energiepreis, während Raubvögel, bzw. komplexe Chemikalien, einen *hohen* relativen Preis haben. Sie sind selten, denn sie benötigen eine Aufkonzentration von Stoffen und Energie aus den tieferen Ebenen.

In Nahrungsketten sind die «Energiepreis»-Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden trophischen Stufen häufig in der Grössenordnung von Zehnerpotenzen; die Atmung benötigt den Hauptanteil der Energie [1]. In Silver Springs, Florida, zum Beispiel,

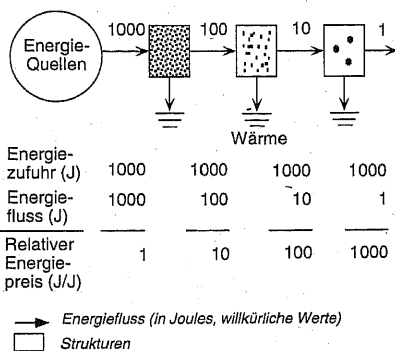


Fig. 1 Hierarchien in thermodynamischen Systemen: Von der nötigen Energiezufuhr für die Aufrechterhaltung des Prozesses wird der grösste Teil als Wärme an die Umgebung abgegeben. Der relative Preis der nützlichen Arbeit nimmt von links nach rechts zu. Die höheren Stufen haben einen höheren relativen Energiepreis und sind selten (die Punktierung symbolisiert die räumliche Streuung).

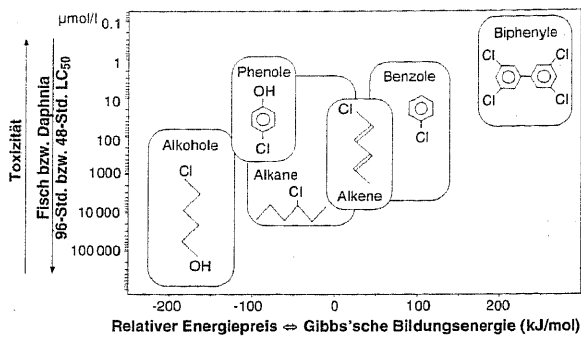


Fig. 2  
Korrelation zwischen dem relativen Energiepreis (als Gibbs'sche Bildungsenergie gemessen) und der akuten Toxizität gegenüber Elritzen und Wasserflöhen für 70 organische Verbindungen aus 6 Stoffklassen, mit 0, 1 oder mehr Chloratoms substituenten (ein Beispiel wird für jede Klasse gezeigt). Die akute Toxizität ist negativ korreliert mit dem Mass für akute Toxizität (lethal concentration,  $LC_{50} = 96$  Std bei Fischen, 48 Std bei Wasserflöhen).

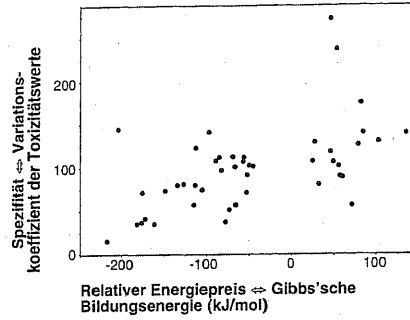


Fig. 3  
Korrelation zwischen dem relativen Energiepreis (als Gibbs'sche Bildungsenergie gemessen) und der Spezifität der akuten Toxizität gegenüber 21 aquatischen Arten (als Variationskoeffizient gemessen) für 45 organische Verbindungen aus 6 Stoffklassen, mit Null, ein oder mehr Chloratoms substituenten.

wird pro Joule Raubtierproduktion schätzungsweise tausendmal mehr Energie benötigt als pro Joule Pflanzproduktion [2].

Gemäss Howard T. Odum, einem der Gründer der Systemwissenschaft, ist das Verhältnis zwischen verbleibender Energie und Energiezufuhr ein Mass des Energiepreises unterschiedlicher Bestandteile eines Systems. Er nannte dieses Verhältnis *transformity* [1]. Dieser Ansatz wird manchmal auch in der *ökologischen Ökonomie* gebraucht, um die wahren Energiepreise verschiedener Wandlungsprozesse zu schätzen. Odum fiel auch auf, dass Dinge mit unterschiedlichen Energiepreisen auch unterschiedliche Funktionen haben. Einfache Stoffe, auch wenn sie pro Masseneinheit geringe Wirkungen haben, können dennoch eine wichtige Rolle spielen: dank ihrer grossen Menge oder in vielfältigen Funktionen. Zum Beispiel als Bausteine für Zellen und als allgemeine Stoffwechselzwischenprodukte wie Nährstoffe oder Aminosäuren. Komplexe und/oder seltene Stoffe haben eine starke Auswirkung pro Masseneinheit und entsprechend spezialisiertere Funktionen: Spurenelemente, Enzyme, Hormone usw. [3].

Ein biologisches System kann gewöhnliche Stoffe, bzw. Dosen, mit wenig Aufwand metabolisieren, hingegen verlangen ungewöhnliche Stoffe oder Dosen energieaufwendigere und spezialisiertere Verarbeitungsmechanismen. Da sie schwierig metabolisierbar sind, sind es auch die ungewöhn-

lichen Stoffe, die in Nahrungsketten aufkonzentriert (bioakkumuliert) werden [3].

### Das Janusgesicht der Chemikalien

Ob ein Stoff nützlich oder toxisch ist, ist weitgehend eine Frage des Gesichtspunktes: Äthanol hat sowohl positive (es kann das persönliche und soziale Wohlfühl fördern) als auch negative Wirkungen (es kann Müdigkeit verursachen und Gewalt auslösen). Bei hohen Dosen und hochwirksamen Chemikalien ist diese Dualität noch ausgeprägter. Wenn Menschen Pestizide oder antibakterielle Medikamente einsetzen bzw. eine Schlange ihr Gift spritzt, so ist der Vorteil für die eine Art der Nachteil für eine andere Spezies!

### Anhaltspunkte aus der (Öko)toxikologie

Es gibt zahlreiche indirekte Hinweise für eine Korrelation zwischen der Seltenheit und der Komplexität einer Chemikalie mit ihrer Neigung zur Bioakkumulation, Wirksamkeit und Spezifität. Wie auch in der Natur wird in der chemischen Industrie viel Energie für das Aufkonzentrieren und Herstellung ungewöhnlicher, chemisch komplexer, wirksamer und spezifischer Stoffe investiert (z.B. in der Pharmakologie und in der Agrarwissenschaft). Ein direkter Hinweis liegt in der beobachteten Korrelation zwischen dem Volumen eines Moleküls, einem wich-

tigen Aspekt der Komplexität, und der Bioakkumulation, der Toxizität und der Spezifität (z.B. Kohlenwasserstoffe in Fischen [4, 5]).

Wir können noch stichhaltigere Beweise suchen, indem wir die eigentlichen relativen Energiepreise verschiedener Stoffe schätzen und sie mit deren Toxizität, Spezifität und dem Bioakkumulationsverhalten vergleichen. In der (öko)toxikologischen Literatur werden zahlreiche Daten über die Toxizität und Bioakkumulation von vielen Stoffen veröffentlicht. Hingegen ist es schwierig, relative Energiepreise zu schätzen, weil die relevanten Energieflüsse meistens nicht bekannt sind.

Als grobe Schätzung für den relativen Energiepreis chemischer Verbindungen kann die Gibbs'sche Bildungsenergie herangezogen werden. Diese ist für viele Stoffe bekannt. Sie steigt mit der Anzahl chemischer Bindungen zwischen den Atomen eines Moleküls [6]. Wahrscheinlich unterschätzt sie aber die *transformity*, da sie weder die nötige Energie für den Transport eines Stoffes zum Ort der Wechselwirkung noch die Aktivationsenergie jeder Umwandlungsstufe berücksichtigt.

Bei der Betrachtung von Elementen kann der relative Energiepreis als die relative Energiemenge geschätzt werden, die von biologischen Systemen benötigt wird, um eine andere interne Konzentration zu erzeugen, als sie in der physiko-chemischen Umwelt vorherrscht. Diese entspricht der Gibbs'sche Bildungsenergie der Konzentrationsdifferenz [7]. Trotzdem kann die *transformity* so unterschätzt werden: Zum Beispiel für Stickstoff wird dabei nicht berücksichtigt, dass dieses Element in Organismen meist in der Form von Zuckern und Eiweissen vorkommt, in der chemischen Umwelt aber hauptsächlich als  $N_2$ .

Anhand dieser Ansätze wurde festgestellt [7], dass für eine Auswahl orga-

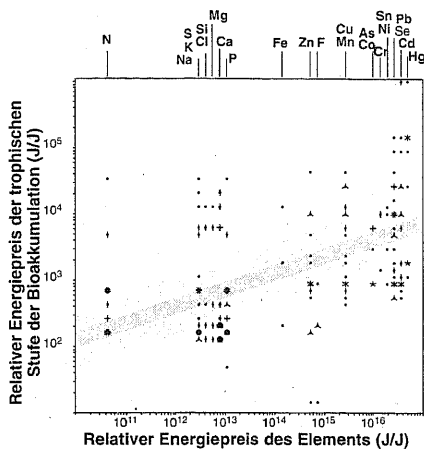


Fig. 4  
Korrelation zwischen dem relativen Energiepreis (als Gibbs'sche Bildungsenergie der Konzentrationsdifferenz zwischen Lebewesen und chemisch-physikalischer Umwelt gemessen) und der Bioakkumulation (als relativer Energiepreis der trophischen Stufe mit der höchsten Akkumulation) für 23 Elemente. Überlappende Punkte sind als Sterne dargestellt.

nischer, industriell gebrauchter Stoffe der relative Energiepreis tatsächlich mit der Toxizität (Fig. 2) und der Spezifität (Fig. 3) korreliert. Ebenso besteht ein Zusammenhang mit Elementen, welche dazu neigen, in Nahrungsketten zu bioakkumulieren (Fig. 4). Die sich daraus ergebenden «Hierarchien» der Verbindungen bzw. Elemente widerspiegeln auch empirisch festgestellte Muster. Bei den Elementen kommen beispielsweise die Alkali- und Erdalkalimetalle im tieferen Bereich vor und die Schwermetalle im höheren Bereich des relativen Energiepreises und der Bioakkumulation.

### Eine breite Palette von Stoffen

In all diesen Beispielen finden wir, dass die Werte der Energiepreise mehrere Größenordnungen überspannen. Damit kann gut erklärt werden, weshalb die Toxizität so viele Größenordnungen überspannen kann. Die Vielfalt der chemischen Umwelt mit «energiebilligen» und «energieteuren» Substanzen entspricht einer Vielfalt von Prozessen bei den biologischen Systemen, was natürlich ebenfalls ein Grund für die unterschiedliche Empfindlichkeit der Lebewesen gegenüber toxischen Stoffen ist. Organismen tiefer trophischer Ebenen dürften eigentlich nicht effizient mit ungewöhnlichen Stoffen um-

gehen können, während für diejenigen höherer Ebenen das Vorkommen solcher Stoffe einen geringeren Stress auf die hochentwickelte metabolische Ausrüstung darstellt. Hat ein Organismus selber einen hohen relativen Energiepreis, kann er generell auch mit einer grösseren Energiezufuhr umgehen. Es wird häufig beobachtet, dass grössere und reifere biologische Systeme widerstandsfähiger (pro Masseneinheit) als kleinere Systeme bzw. jüngere Lebensstadien sind.

### Schlussfolgerungen und Bedeutung für das Umweltmanagement

Seltene Stoffe oder Dosen, die eine hohe Konzentration chemischer Energie darstellen, haben starke Auswirkungen – positive oder negative: «Die Energiedosis macht, ob ein Ding Gift ist (... oder Heilmittel)». Und aus der Sicht der Biologie sind es die hierarchisch höher entwickelten und reiferen Systeme, welche widerstandsfähiger gegen Stress sind: «Die Energiedosis macht, ob ein Ding resistent ist».

Einige der allgemeinen Folgerungen daraus sind kaum neu: Die gewöhnlichen Stoffe sind weniger toxisch und ihre Wirkungen weniger spezifisch, sie bioakkumulieren in geringerem Mass. Ökosysteme in naturnahem Zustand können mit toxischen Störungen besser umgehen als bereits beeinträchtigte, und mittlere Entwicklungsstadien sind widerstandsfähiger als die jüngsten und die ältesten Stadien.

Daraus kann empfohlen werden, dass die anthropogenen Emissionen chemischer Energie in die Umwelt die Verarbeitungskapazität biologischer Systeme nicht übersteigen sollte. Die heutige massive Produktion von Chemikalien – die einen neu und komplex und die anderen in ungeheuren Mengen – erfüllt diese Forderung nicht. Die Biosphäre ist überfordert, um so mehr, als ihre Vielfalt in rasantem Tempo vermindert wird (Fig. 5).

Ist der Ansatz des Energiepreises im Umweltmanagement anwendbar? Sicher kann er in der Ökobilanzierung

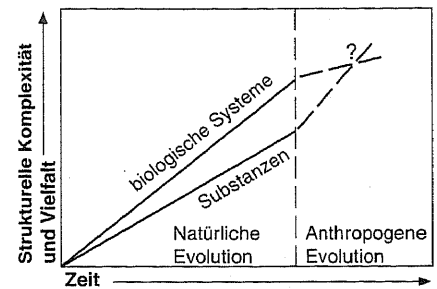


Fig. 5  
Die heutigen menschlichen Aktivitäten vermindern die biologische Komplexität und Vielfalt und erhöhen gleichzeitig die chemische Komplexität und Vielfalt. Dies bedroht die Verarbeitungskapazität biologischer Systeme.

von Produkten gebraucht werden. Seine Anwendbarkeit ist aber noch breiter und schliesst *ökologische Ökonomie* und *Umwelttechnologie* ein. Zum Beispiel evaluierte Pritchard [8] konkurrierende Alternativen für die Rückgewinnung vom Blei aus Autobatterien.

Gegenwärtig werden solche Anwendungen hauptsächlich durch die methodischen Schwierigkeiten bei der Einschätzung der Energie- und Stoffflüsse in der Wirtschaft und in der Umwelt behindert. Deshalb ist es eine wichtige Aufgabe für das Umweltmanagement, die Methoden zu verfeinern und eine entsprechende Datenbank aufzubauen.

- [1] Odum, H.T. (1983): Systems ecology. Wiley, New York.
- [2] Costanza, R., und Neill, R. (1984): Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: A linear programming approach. *J. theor. Biol.* 106, 41–57.
- [3] Williams, R.J.P. und da Silva, J.J.R. (1996): The natural selection of the chemical elements. Clarendon Press, Oxford.
- [4] Hermens, J.L.M. (1990): Quantitative structure-activity relationships for predicting fish toxicity. – In: Karcher, W. und Devillers, J. (eds.), Practical applications of quantitative structure-activity relationships (QSAR) in environmental chemistry and toxicology. ECSC, Brussels, pp. 263–280.
- [5] Kishino, T. und Kobayashi, K. (1995): Relation between toxicity and accumulation of chlorophenols at various pH, and their absorption mechanism in fish. *Wat. Res.* 29, 431–442.
- [6] Wicken, J.S. (1980): A thermodynamic theory of evolution. *J. theor. Biol.* 87, 9–23.
- [7] Genoni, G.P. (1997): Towards a conceptual synthesis in ecotoxicology. *Oikos* 80, 96–106.
- [8] Pritchard, L. (1992): The ecological economics of natural wetland retention of lead. M.S. Thesis, Univ. of Florida, Gainesville, FL, USA.

# Kunststoffteilchen statt Beton

## Alternative zum Ausbau von Kläranlagen



Max Maurer

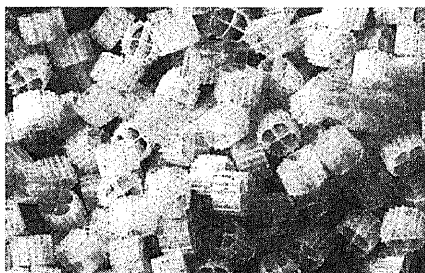


Fig. 1  
Ein kommerzielles Trägermaterial für das Wirbelbettverfahren (Kaldnes). Die «Rädchen» haben einen Durchmesser von 1 cm, bestehen aus Polyethylen und schwimmen auf dem Wasser.

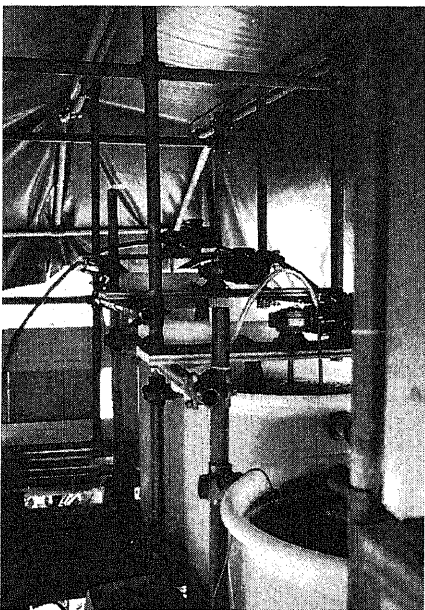


Fig. 2  
Blick auf die beiden Versuchsanlagen auf der ARA Laufäcker (Turgi, AG). Unter der im Hintergrund sichtbaren Abdeckung ist die halbertechnische Pilotanlage verborgen

Eine ganze Reihe von schweizerischen Abwasserreinigungsanlagen werden momentan saniert und erweitert. Ein neues Verfahren aus Norwegen verspricht eine Erhöhung der Reinigungsleistung ohne den Beckenbau. In Zusammenarbeit mit dem Abwasserverband Region Baden-Wettingen und dem BUWAL testet der Forschungsbereich Ingenieurwesen die Eignung des Verfahrens für die Stickstoffentfernung. Ein Zwischenbericht.

### Abwasserreinigungsanlagen im Ausbau

In den letzten 30 Jahren konnten in der Schweiz 92% aller Einwohner an eine der 1000 öffentlichen Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen werden. Die erste Generation Kläranlagen wurden zur Feststoffabtrennung und für die Deckung des Sauerstoffbedarfes des Abwassers gebaut. Allerdings hat man in den vergangenen Jahren auch erkannt, dass zusätzlich noch weitere, im Gewässer indirekt wirkende Stoffe aus dem Abwasser entfernt werden müssen. Diesen erhöhten Anforderungen an die Kläranlagen wird im Zuge der zumeist ohnehin zeitlich bedingten Sanierung durch einen Ausbau der bestehenden Anlage Rechnung getragen.

### Systeme zur Abwasserreinigung

Ein aktuelles Beispiel dafür ist die Kläranlage «Laufäcker» in Turgi, die das Abwasser der Region Baden-Wettingen (ca. 80 000 Einwohneräquivalente) reinigt. Zwei Systeme stehen dort in der engeren Diskussion:

#### • Das konventionelle Belebtschlammverfahren:

Dabei wird die Eigenschaft von Mikroorganismen, flockenartige Kolonien zu bilden, genutzt. Solche «Schlamm»-Flocken werden intensiv mit dem Abwasser vermischt, nach einer gewissen Reaktionszeit abgetrennt und dann wieder für den nächsten Reinigungszyklus eingesetzt.

#### • Das für schweizerische Bedingungen neuartige Wirbelbettverfahren:

In diesem sogenannten Biofilmverfahren wachsen die für die Reinigung verantwortlichen Mikroorganismen auf einer Oberfläche auf. Das Abwasser strömt über diesen «belebten Rasen», so dass die Schmutzstoffe in den Film dringen und dort von den Kleinstlebewesen abgebaut werden können.

Charakteristisch für das Wirbelbettverfahren ist die Verwendung von kleinen Trägerteilchen, üblicherweise einige Millimeter im Durchmesser (Beispiel in Fig. 1). Diese Partikel dienen als Aufwuchsfläche für den biologischen Film und werden zu diesem Zweck in normalen Becken suspendiert und in Bewegung gehalten (verwirbelt).

### Wirbelbett versus Belebtschlamm

Um auf der ARA Laufäcker die angestrebten Reinigungsziele erreichen zu können (ganzjährige Stickstoff- und Phosphorentfernung), müssten für das Belebtschlammverfahren zusätzliche Becken erstellt werden. Aufgrund der grossen Erfahrungen mit dem bereits jetzt schon eingesetzten System sind die zu erwartenden Reinigungsleistungen und die betriebliche Handhabung gut bekannt.

Beim Wirbelbettverfahren könnte man hingegen mit den verfügbaren Beckenvolumina auskommen, aber die Betriebsprobleme und die Effizienz sind noch unbekannt.

## Zusammenarbeit mit der Praxis

Aufgrund dieser Unsicherheiten hat der Vorstand des Abwasserverbandes Region Baden-Wettingen (AVRBW) beschlossen, eine Strasse der bestehenden Anlage vorübergehend nach dem neuartigen Verfahren zu betreiben. Dabei soll ein rund 820 m<sup>3</sup> grosses Becken mit Trennwänden, Rührern und einer grobblasigen Belüftung versehen werden (Fig. 2).

Für den Forschungsbereich Ingenieurwissenschaften an der EAWAG bietet sich damit eine ausserordentliche Gelegenheit, das für die schweizerischen Verhältnisse sehr interessante Verfahren unter Praxisbedingungen zu untersuchen. Aus diesem Grund wurde zusammen mit dem AVRBW und dem BUWAL das Projekt «Denitrifikation im Wirbelbett» (s. kleiner Kasten) im Frühling 1997 in Angriff genommen.

## Halbtechnische Pilotanlage

Parallel zum Teilbetrieb wurde noch eine halbtechnische Pilotanlage erstellt (Fig. 3). Diese besteht aus 6 Becken mit einem Gesamtvolumen von 1650 l. Die rund 5000 l Abwasser pro Tag stammen aus dem Vorklärbecken der Kläranlage. Analog zum Teilbetrieb sind die ersten zwei Becken für eine Denitrifikation (mikrobielle Umwandlung von Nitrat in Luftstickstoff) ausgelegt und aus diesem Grund unbelüftet. In die anderen wird Sauerstoff durch Einblasen von Luft eingetragen.

Diese handliche und flexible Pilotanlage erlaubt es, unterschiedliche Trägermaterialien einzusetzen und zu untersuchen. Der Vergleich mit dem im Teilbetrieb eingesetzten kommerziellen Trägermaterial zeigt dann, ob

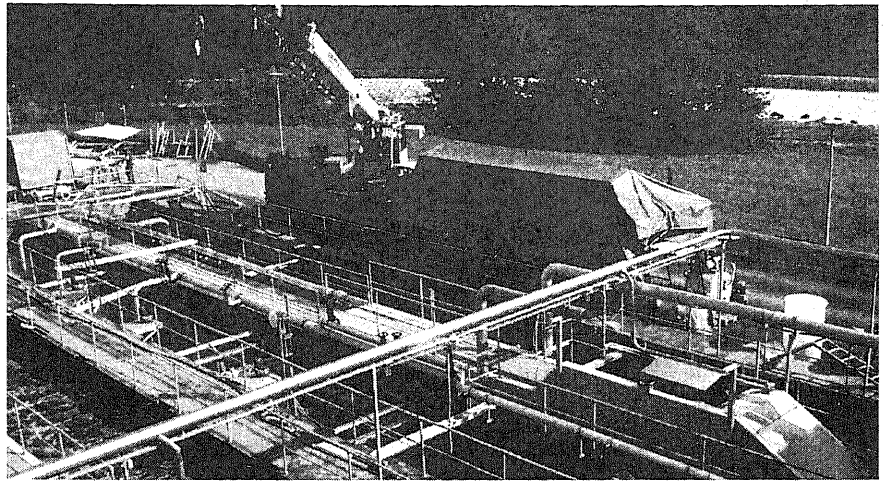


Fig. 3  
Sicht auf den Zulauf der halbtechnischen Pilotanlage. Vorne sind die beiden gerührten unbelüfteten Becken, dann folgt ein gerührtes belüftetes Becken, die weiteren Becken sind lediglich belüftet.

und wie sich die unterschiedlichen Materialeigenschaften auf die Reinigungsleistung auswirken. In einer ersten Phase übernehmen die Schaumgummi-Würfelchen die Rolle des Trägermaterials.

## Erste Ergebnisse

Aus dem grosstechnischen Teilbetrieb lassen sich im Moment noch keine Rückschlüsse auf die Reinigungsleistung ziehen. Allerdings zeigen erste Resultate aus dem Sommerbetrieb der halbtechnischen Pilotanlage, dass zum Belebtschlammssystem vergleich-

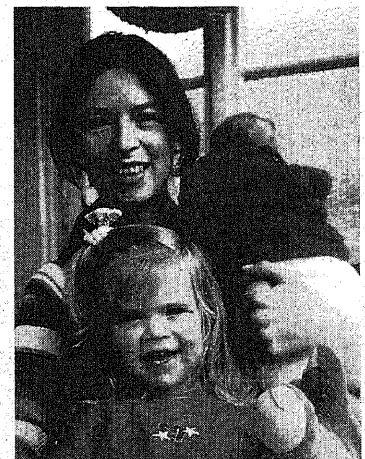
bare Abbauleistungen erzielt wurden. Untersuchungen über die maximalen Abbauleistungen deuten darauf hin, dass das System sogar noch über signifikante Reserven verfügt. Dazu werden detailliertere Untersuchungen im Moment durchgeführt.

Die weiteren Etappen des Projektes beinhalten die Ermittlung der Reinigungsleistung im Winterbetrieb und den Vergleich der verschiedenen Trägermaterialien. Daraus werden dann Empfehlungen zur Dimensionierung von Wirbelbetтанlagen abgeleitet. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse wird im Winter 98/99 erwartet.

## Otto-Jaag-Gewässerschutzpreis 1997

Der Otto-Jaag-Gewässerschutzpreis 1997 ist an Dr. Barbara Baumann, ehemalige Doktorandin der Abteilung Mikrobiologie, verliehen worden für ihre Dissertation *Dynamics of Denitrification in Paracoccus denitrificans*.

Barbara Baumann hat in ihrer Doktorarbeit erfolgreich eine Kombination klassischer mikrobiologischer Kultivierungsmethoden und molekular-genetischen Techniken angewendet, um die sehr schnelle Reaktion von Bakterienzellen auf wechselnde Umweltbedingungen festzustellen. Insbesondere hat sie sich dabei mit der Fähigkeit denitrifizierender Bakterien auseinandergesetzt, Nitrat unter sauerstofflosen Bedingungen in Luftstickstoff umzuwandeln. Die Bakterien stellen sehr rasch fest, wenn kein Sauerstoff vorhanden ist, und schalten dann die notwendigen Enzymsysteme ein, welche die Atmung von Nitrat anstatt Sauerstoff ermöglichen. Eine der wichtigsten Ergebnisse der Arbeit von Dr. B. Baumann war die Feststellung, dass die Induktion der Nitritreduktase später erfolgt als die der Nitrat- und N<sub>2</sub>O-Reduktasen. Dies führt zu einem zeitlichen Ungleichgewicht und eine Anreicherung vom toxischen Nitrit. Für eine optimale Denitrifikation soll allerdings die Nitritkonzentration möglichst tief gehalten werden.



«Denitrifikation im Wirbelbett» ist ein Gemeinschaftsprojekt des Forschungsbereiches Ingenieurwissenschaften der EAWAG, dem Abwasserverband Region Baden-Wettingen und dem BUWAL.

Ausserdem möchten wir an dieser Stelle dem Personal der ARA Laufäcker und dem Ingenieurbüro Hollinger AG ganz herzlich für die Zusammenarbeit danken.

# Erhöhte biologische Phosphatelimination aus Abwasser

## Die Suche nach den Organismen



v.l.n.r.: Alexander J.B. Zehnder, Jan Roelof van der Meer, Dittmar Hahn, Rolf Hesselmann

\* in Zusammenarbeit mit Dietmar Stas, Ricarda von Rummell und Sol M. Resnick

<sup>1</sup> EAWAG

<sup>2</sup> Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich

Erstmals gelang die spezifische Detektion eines Bakteriums, mit dessen Hilfe eine erhöhte biologische Phosphatelimination in Abwasserreinigungsanlagen erreicht werden kann. Die neuen Erkenntnisse erlauben eine verwandtschaftliche Zuordnung des Bakteriums zu bereits bekannten Bakterien. Dieser Erkenntniszuwachs wurde erreicht durch mehrjährige Züchtung in Laborreaktoren und den Einsatz von modernen molekularbiologischen Methoden.

Eine erhöhte biologische Phosphatelimination (Bio-P) ist eine vielversprechende Alternative zur chemischen Phosphatelimination in Abwasserreinigungsanlagen [1]. Da bei der biologischen Variante keine oder weniger chemische Fällmittel benötigt werden, verringern sich die anfallende Klärschlammmenge, die Kosten für Fällmittel und die Schwermetallbelastung des Klärschlammes (aus Verunreinigungen der Fällmittel). In vielen Fällen ist das Bio-P-Verfahren deshalb die nachhaltigere Phosphateliminationstechnologie [2]. Deshalb wird es auch bereits im benachbarten Ausland immer häufiger angewandt, obwohl das Verständnis der zugrundeliegenden mikrobiologischen Vorgänge noch sehr lückenhaft ist. So konnten die Schlüsselorganismen (Bio-P-Bakterien) bisher noch nicht identifiziert werden [3]. Die Wissenslücken behindern die Optimierung der Prozessführung und sollten deshalb geschlossen werden. Mit den hier beschriebenen Arbeiten wollen wir dazu einen Beitrag leisten.

in die biologische Stufe von Abwasserreinigungsanlagen umgesetzt.

Das einfachste Modell für den Bio-P-Prozess arbeitet mit Acetat als Modellsubstrat [4]: Acetat wird unter den anaeroben Bedingungen in Form von Polyhydroxybuttersäure (PHB) gespeichert (Fig. 1). Die dazu benötigte Energie wird aus der Spaltung von intrazellulärem Polyphosphat gewonnen, wodurch sich die Phosphatkonzentration im Wasser zunächst erhöht. Unter aeroben Bedingungen wird dann das akkumulierte PHB für Wachstum und das Wiederauffüllen des Polyphosphatspeichers genutzt. Bei der Veratmung von PHB entsteht ein temporärer Energieüberschuss in den Zellen, weshalb mehr Polyphosphat gebildet wird, als zuvor abgebaut wurde. Gesamthaft führt das zu einer deutlichen Netto-Elimination von Phosphat. Sowohl Polyphosphat als auch PHB werden als osmotisch inerte Granula in den Zellen gespeichert.

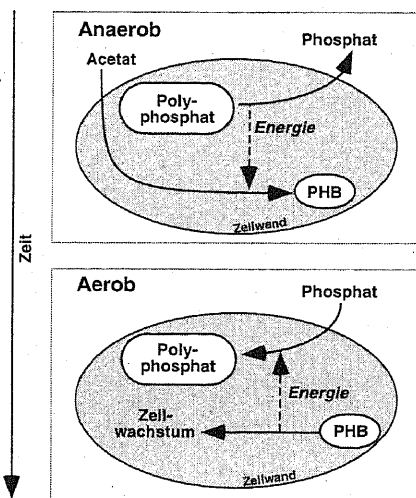


Fig. 1 Vereinfachte Darstellung des Stoffwechsels in einem Bio-P-Bakterium.

**Ribosomale RNA (rRNA)** ist ein struktureller Bestandteil der Ribosomen (die Organellen der Proteinsynthese). An der Proteinsynthese sind mit messenger-(mRNA) und transfer-RNA (tRNA) zwei weitere Arten von RNA-Molekülen beteiligt. Die Baupläne (Gene) für die rRNA sind Bestandteil der Kern-DNA, gehören also zum Erbgut der Organismen. Eine Zelle hat deutlich mehr als 500 identische Ribosomen im ganzen Zellplasma verteilt. Durch das hundertfache Vorhandensein der Zielsequenzen ist die Empfindlichkeit wesentlich höher, als wenn die zugrunde liegende DNA-Sequenz das Ziel der Sonden wäre.

### Physiologisches Modell

Das Prinzip des Bio-P-Prozesses besteht im Aufbau von Polyphosphatspeichern in Bakterien. Dadurch fixieren die Zellen mehr Phosphat, als sie zum Wachstum benötigen. Diese Polyphosphatspeicherung wird durch alternierende aerobe und anaerobe Zustände angeregt. Technisch wird dies durch die Integration eines unbelüfteten Beckens

### Welche Bakterien sind beteiligt?

Bisher ist es noch nicht gelungen, ein Bakterium als Reinkultur (Nachkommenschaft einer einzelnen Zelle [Isolierung, dann Vermehrung]) im Labor zu züchten, das dem oben vorgestellten Modell entspricht. Da aber die klassischen mikrobiologischen Methoden zur Identifizierung von Bakterien auf Reinkulturen angewiesen sind, war bisher eine eindeutige Identifizierung von Bio-P-Bakterien nicht möglich. Im übernächsten Abschnitt wird eine

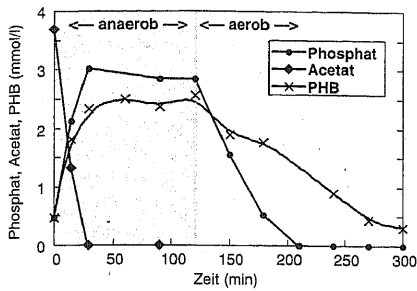


Fig. 2  
Stoffdynamik in der Anreicherungskultur. Nach 35 Min. in der anaeroben Phase ist Acetat vollständig von den Zellen aufgenommen und in Form von PHB gespeichert. Die simultane Erhöhung der Phosphatkonzentration ist ein Indiz für den Abbau von Polyphosphat. In der aeroben Phase wird Phosphat vollständig aufgenommen und der PHB-Vorrat konsumiert.

neue molekularbiologische Methode beschrieben, mit der diese Schwierigkeiten umgangen werden können. Um die Anwendung der Methode zu vereinfachen, wurden aber zunächst Mischkulturen mit einem möglichst hohen Anteil von Bio-P-Bakterien benötigt.

### Anreicherung im Laborreaktor

Ein Laborreaktor wurde während drei Jahren unter optimalen Bedingungen für eine hohe Anreicherung von Bio-P-Bakterien betrieben. Dazu wurde Belebtschlamm mit Acetat als einzigem organischen Substrat unter abwechselnd anaeroben und aeroben Bedingungen gezüchtet. Das Acetat wurde jeweils zu Beginn einer anaeroben Phase zugegeben und war vor Beginn der folgenden aeroben Phase vollständig aufgenommen. Da Acetat unter strikt anaeroben Bedingungen nur von wenigen Organismen verwertet werden kann, ergab sich daraus ein Selektionsvorteil für Bio-P-Bakterien. Erwartungsgemäss erreichte diese Anreicherungskultur eine hohe Bio-P-Aktivität (Fig. 2), wodurch die anschließenden Anwendungen der molekularbiologischen Methoden erheblich vereinfacht wurden.

### Ribosomale RNA und phylogenetische Klassifizierung

Die Molekularbiologie hat mittlerweile Methoden hervorgebracht, mit denen einzelne Bakterien erfasst und charak-

terisiert werden können, ohne auf Reinkulturen angewiesen zu sein. Eine solche Methode basiert auf dem spezifischen Nachweis von ribosomalen RNA-Sequenzen (rRNA) [5]. Aufgrund typischer Gemeinsamkeiten in diesen Sequenzen können Bakterien hinsichtlich ihrer Verwandtschaft zu anderen Bakterien klassifiziert werden. Seit Ende der siebziger Jahren wird deshalb anhand der rRNA ein Stammbaum der Bakterien Stück für Stück aufgestellt. Diese «phylogenetische Klassifizierung» ist heute eine der wichtigsten Einordnungsmethoden für Mikroorganismen (*phylon*, gr.: Stamm; *genesis*, gr.: Herkunft).

Anhand der rRNA-Sequenzen können rRNA-Sonden hergestellt werden, um spezifische Bakterien in Mischpopulationen nachzuweisen. Dazu werden kurze Nukleotid-Stränge synthetisiert, die an charakteristische Stellen der rRNA binden können. Da die Sonden zusätzlich mit einem Fluoreszenzfarbstoff verknüpft sind, kann die Bindung in den Zielzellen mit einem Epifluoreszenzmikroskop nachgewiesen werden: die gesuchten Bakterien leuchten bei Anregung mit UV-Licht (Fig. 3).

Die rRNA-Sonden können auf unterschiedliche Spezifität ausgelegt werden. Aufgrund dessen können für eine unbekannte Population zunächst die prozentualen Anteile von grossen Gruppen (weitgefasster Verwandtschaftsgrad) bestimmt werden. Die interessierenden Gruppen können dann mit spezifischeren Sonden weiter aufgegliedert werden in Untergruppen, Familien, Gattungen und schliesslich Arten.

### Populationszusammensetzung in der Anreicherungskultur

Die Anreicherungskultur wurde zunächst mit Gensonden untersucht, die jeweils einzelne Hauptgruppen aus dem Reich der Bakterien erfassen. Dabei stellte sich heraus, dass mehr als 80% der Organismen zu den Beta-Proteobakterien gehörten (Fig. 4). Mit zwei differenzierenden rRNA-Sonden

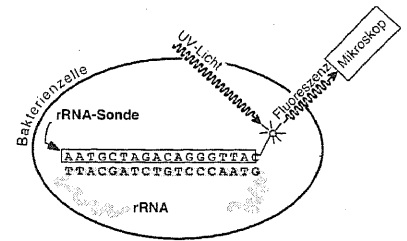


Fig. 3  
Eine rRNA-Sonde aus 18 Nukleotiden und einem Fluoreszenzfarbstoff hat an eine komplementäre Basensequenz der rRNA eines Bakteriums gebunden. Nach Anregung mit UV-Licht einer bestimmten Wellenlänge strahlt der Farbstoff Fluoreszenzlicht ab, das mit einem Mikroskop beobachtet wird. Da in einem Bakterium mehr als 500 Ribosomen gleichmässig über die Zelle verteilt sind, leuchtet der gesamte Zellkörper.

konnte die Zugehörigkeit weiter eingegrenzt werden (2. Untergruppe der Beta-Proteobakterien). Nach dieser Eingrenzung wurde eine neue Gensonde entwickelt, die für die Gattung *Rhodocyclus* spezifisch sein sollte. Auch mit dieser schon recht spezifischen Sonde reagierten noch rund 80% aller Organismen. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Labor-kultivierung zu einer hohen Anreicherung einer einzigen Bakteriengruppe geführt hat, die zur Gattung *Rhodocyclus* gehört oder aber eng verwandt ist.

### Abgrenzung zur Gattung *Rhodocyclus*

Die Mitglieder der Gattung *Rhodocyclus* sind zu anaerob-phototrophen Wachstum befähigt. Dieses physiologische Merkmal dient, neben der phylogenetischen Verwandtschaft, als

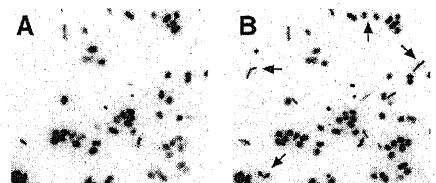


Fig. 4  
Probe aus der Anreicherungskultur (invertierte Epifluoreszenzaufnahmen).  
A: Anfärbung mit einer rRNA-Sonde für Beta-Proteobakterien (BETA-Sonde).  
B: Gleicher Bildausschnitt wie in A nach unspezifischer Anfärbung aller Zellen (DAPI-Fluoreszenzfarbstoff). Die Pfeile weisen auf Zellen, die mit der BETA-Sonde nicht erfasst werden (vgl. Bild A).

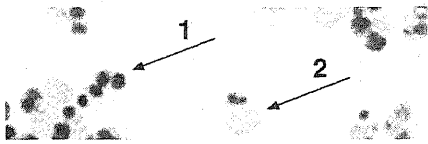


Fig. 5  
Probe vom Ende der aeroben Phase nach Anfärbung von Polyphosphat-Granula (Hellfeld-Aufnahme nach Neisser-Färbung).  
1: Zelle mit 2 Polyphosphat-Granula  
2: Zelle ohne Granula.

wichtiges Kriterium, um eine Bakterienart den Rhodocyclen zuzuordnen [6]. Entsprechende Kontrollversuche mit der Anreicherungskultur zeigten aber, dass das dominante Bakterium aus der Bio-P-Kultur nicht zu solch anaerob-phototrophen Wachstum in der Lage ist. Unser Bio-P-Bakterium scheint also zwar mit der Gattung *Rhodocyclus* eng verwandt zu sein, unterscheidet sich aber deutlich in der Physiologie. Aufgrund der vorliegenden Informationen gehört unser Bio-P-Bakterium zu einer bisher unbekanntem Gattung (wir nennen sie vorläufig «Pseudo-Rhodocyclen»), die in zukünftigen Arbeiten erst noch näher charakterisiert werden muss.

Wir haben bisher also so etwas wie die «Fingerabdrücke» unseres Bakteriums, anhand derer wir es an jedem Tatort aufspüren können. Allerdings können wir es noch nicht von seinen «Geschwistern» unterscheiden und kennen noch nicht sein vollständiges «Täterprofil».

Zurzeit versuchen wir, die vollständige rRNA-Sequenz des dominanten Bakteriums zu ermitteln. Die vollständige Sequenz wird eine genauere Klassifizierung und die Entwicklung noch spezifischerer Gensonden ermöglichen, die dann auch eine direkte Abgrenzung zu den Rhodocyclen erlauben.

## Nachweis von Polyphosphat und PHB

Der hohe Anreicherungsgrad ermöglichte eine indirekte mikroskopische Bestätigung, dass das dominante Bakterium auch tatsächlich ein Bio-P-Bakterium ist. Zu diesem Zweck wurden Färbungstechniken eingesetzt, die jeweils spezifisch Polyphosphat- bzw. PHB-Granula anfärben [7]. In Proben vom Ende der aeroben Phase

wiesen 80% aller Zellen deutliche Polyphosphat-Granula auf (Fig. 5).

Ein analoges Bild ergab sich für Proben vom Ende der anaeroben Phase, wenn PHB angefärbt wurde: Mehr als 80% der Zellen enthielten deutliche PHB-Granula (Fig. 6). Da die rRNA-Sonde und die Granulafärbungen nicht an ein und demselben mikroskopischen Präparat angewendet werden können, ist eine direkte Zuordnung von Polyphosphat- bzw. PHB-Speicherung zu den «Pseudo-Rhodocyclen» nicht möglich. Aufgrund der jeweils hohen Anteile (>50%) ist aber indirekt erwiesen, dass die drei Teilmengen eine weitgehende Schnittmenge bilden müssen. Der grösste Teil dieser «Schnittmenge» hatte zudem eine einheitliche Zellform. Dass das gegenläufige Auf- und Abbauen von Polyphosphat und PHB tatsächlich in ein und denselben Zellen abläuft, konnte hier erstmals in dieser Eindeutigkeit nachgewiesen werden. Das dominante Bakterium unserer Anreicherungskultur ist demnach zweifelsfrei ein «echtes» Bio-P-Bakterium, welches allen wesentlichen Modellannahmen entspricht.

## Zukünftige Einsatzmöglichkeiten der rRNA-Sonde

Durch die Entwicklung der Gensonde ist es nun mit geringem Aufwand möglich, in verschiedensten Bio-P-Anlagen nach diesen Bakterien zu suchen. Solche Untersuchungen werden zeigen, inwieweit die Phosphatelimination mit der Anzahl dieser Bakterien korreliert. Unsere Resultate bedeuten schliesslich nicht, dass unser dominantes Bakterium das einzige oder wichtigste Bio-P-Bakterium ist. Das zu überprüfen, bleibt eine der nächsten Aufgaben.

Die Sonde kann auch sehr gut zum Screening von Isolaten aus Bio-P-Mischkulturen verwendet werden. Wir selber haben bereits verschiedene aus unserem Reaktor isolierte Reinkulturen mit der Rhodocyclen-Sonde getestet. Dabei stellte sich heraus, dass keines der Isolate mit dem dominanten Bio-P-Bakterium identisch war. Dies

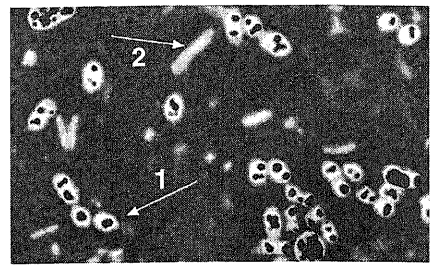


Fig. 6  
Probe vom Ende der anaeroben Phase nach Anfärbung von PHB-Granula (invertierte Epifluoreszenzaufnahme nach Nilblau-Färbung). Zur Sichtbarmachung der Zellumrisse wurde das Bild mit einer invertierten Phasenkontrast-Aufnahme überlagert.  
1: Zelle mit einem PHB-Granula (dunkles Gebilde im hellen Zellumriss)  
2: Zelle ohne Granula.

bestätigt die bekannten Schwierigkeiten, ein Bio-P-Bakterium als Reinkultur zu gewinnen.

Die Bio-P-Bakterien sind kein Einzelfall; viele natürlich vorkommende Bakterien können unter Laborbedingungen bisher nicht kultiviert werden. Das ist einer der Gründe, warum bis heute erst ein geringer Anteil aller Bakterienarten bekannt ist. Die Arbeit ist deshalb nicht nur ein Beitrag zum Verständnis der erhöhten biologischen Phosphatelimination, sondern auch ein Beispiel für neue methodische Möglichkeiten bei der Untersuchung von komplexen biologischen Systemen im Allgemeinen.

- [1] Siegrist H. (1995): Nährstoffelimination in Belebungsanlagen. EAWAG news 37D, 11–16.
- [2] Max Maurer und Willi Gujer (1996): Erhöhte biologische Phosphorelimination. gwa, 76, Jahrgang, 867–876.
- [3] Kortstee G.J.J., Appeldoorn K.J., Bonting C.F.C. and E.W.J. van Niel (1994): Biology of polyphosphate-accumulating bacteria involved in enhanced biological phosphorus removal. FEMS Microbiol. Rev., 15, 137–153.
- [4] Comeau Y., Hall K.J., Hancock R.E.W. and W.K. Oldham (1986): Biochemical model for enhanced biological phosphorus removal. Water Research, 20, 1511–1521.
- [5] Amann R.L., Ludwig W. and K.H. Schleifer (1995): Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. Microbiol. Rev., 59, 143–69.
- [6] Trüper H.G. and J.F. Imhoff (1992): The genera *Rhodocyclus* and *Rubrivivax*, in A. Balows, H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder, and K.-H. Schleifer, eds., *The prokaryotes*, Springer-Verlag, New-York, 2556–2561.
- [7] Rees G.N., Vasiliadis G., May J.W. and R.C. Bayly (1992): Differentiation of polyphosphate and poly- $\beta$ -hydroxybutyrate granules in an *Acinetobacter* sp. isolated from activated sludge. FEMS Microbiology Letters, 94, 171–174.

Sybille Borner und Heinz Stalder

# Krokodile im Vierwaldstättersee

Sibylle Borner<sup>1</sup>Heinz Stalder<sup>2</sup>

Seit Jahrtausenden hat der Mensch die natürliche Zusammensetzung der Tier- und Pflanzenarten manipuliert, absichtlich und auch zufällig. In allen Gegenden der Erde finden wir heute Arten, die nicht zur ursprünglichen Vielfalt gehören. Die Konsequenzen sind kontrovers: Während Ökologiefachleute vor einer Störung des biologischen Gleichgewichts warnen und Veterinärmediziner und Agronomen die Gefahr von neuen Krankheiten in den Vordergrund rücken, freuen sich andere an der sogenannten Bereicherung der einheimischen Flora und Fauna.

<sup>1</sup> S. Borner ist dipl. Biologin und arbeitete im Rahmen des «Sumpfkrebs-Projektes» 1997 an der EAWAG.

<sup>2</sup> Biologe, WWF Schweiz, Zürich

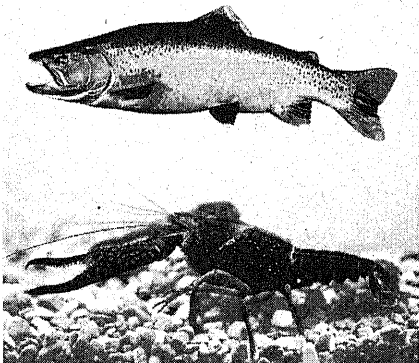
Den eingeschleppten Arten wird an der EAWAG vor allem im Bereich der Fischfauna seit längerer Zeit grössere Beachtung geschenkt. 1996/97 rückte unvermittelt eine weitere Art ins Blickfeld: der Rote Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii* in Fig. 1). Über diesen Krebs wurde in den vergangenen Monaten viel und heftig diskutiert. Hier soll versucht werden, die Problematik in einen grösseren Rahmen zu stellen.

## Fremd versus einheimisch

Das Thema «fremde Arten» kann nicht ohne Klärung der Begriffe «fremd» und «einheimisch» angegangen werden. Dabei stellt sich bald heraus, dass die Grenzen fließend und teilweise künstlich sind. Im allgemeinen werden Tiere und Pflanzen als fremd betrachtet (Neophyten und Neozoen), welche nach 1500 unser Land besiedelt haben [1]. Die etwas willkürliche Jahreszahl ist in der Überquerung des Atlantiks durch Kolumbus begründet und sie definiert den Beginn der Neuzeit. Zunehmender Handel, Migration, Kriege, Entdeckungsreisen förderten neu den Austausch und die Verschleppung bisher nur lokal vorkommender Arten. Aber schon in früheren Zeiten hat die grossflächige Umgestaltung der ursprünglichen Naturlandschaft in eine Kulturlandschaft zur Veränderung der Artenzusammensetzung beigetragen. Der Mensch hat neue Lebensräume geschaffen und die fremden Arten nutzten die Gunst der Stunde und eroberten Wiesen, Äcker und Ruderal-

flächen. Vor 1500 eingewandert – und deshalb als einheimisch klassiert – sind zum Beispiel Eisenkraut, Kornblume, Klatschmohn, Edelkastanie, Nussbaum, Feldlerche und Rauchschnalbe. Die Ackerbegleitflora wurde sozusagen als blinder Passagier zusammen mit verschiedenen Getreidearten aus dem Vorderen Orient eingeführt. Über Griechenland und den Balkan, aber wahrscheinlich auch über Südwesteuropa und das Rhonetal gelangte der Ackerbau vor mehr als 6500 Jahren nach Mitteleuropa. Die Ackerbegleitflora eroberte sehr schnell auch entlegene Gebiete, da die Samen dieser Pflanzen am Fell und an den Hufen und Klauen von Tieren hängen blieben. Dank ungenügender Saatgutreinigung und dem Fehlen wirksamer Unkrautbekämpfungsmethoden konnten sich diese Arten bis vor wenigen Jahrzehnten grossflächig halten. Heute wird davon ausgegangen, dass 16% aller Pflanzenarten in Mitteleuropa direkt oder indirekt vom Menschen eingeschleppt wurden. Einigen davon, insbesondere die Ackerbegleitflora und -fauna, werden heute im biologischen Landbau gezielt gefördert und zur Schädlingsbekämpfung oder zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit eingesetzt.

Die Fig. 2 zeigt, welchen enormen Einfluss die Land- und im geringeren Masse auch die Forstwirtschaft im Mittelalter auf die Artenzahl hatte (Pflanzenarten in der Umgebung von Zürich) [1, verändert]. Mit der Intensivierung der Landwirtschaft und der Aufgabe von Spezialkulturen (z.B.



Fotos: Armin Peter und Thomas Stucki

Fig. 1  
Sowohl die Regenbogenforelle als auch der Rote Sumpfkrebs sind seit ihrer Einwanderung eine Plage für die einheimischen Artgenossen.

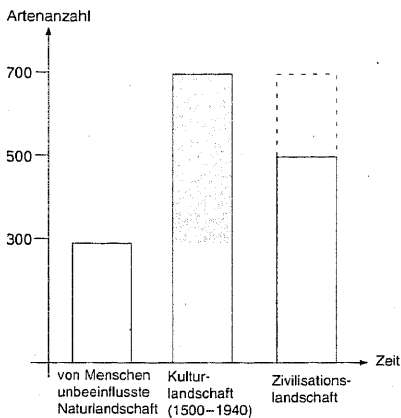


Fig. 2  
Aufgrund der Forst- und Landwirtschaft in den letzten 5 Jahrhunderten wanderten etliche Arten nach Europa ein (dunkler Balkenteil). Die intensivere Landnutzung in den letzten Jahrzehnten verminderte allerdings die Artenzahl wieder beträchtlich (gestrichelte Umrandung).

Lein) verschwanden viele dieser eingeschleppten und oft mit bestimmten Ackerbautechniken assoziierten Arten wieder. Verbreitungsareale können sich aber auch natürlicherweise erweitern, wenn geänderte Lebensraumbedingungen in Nachbargebieten Vorteile bieten. Beispielsweise ist die Türkentaube in diesem Jahrhundert kontinuierlich aus Kleinasien in den westeuropäischen Kontinent vorgedrungen. Und in der Schweiz zählt man alleine 32 neue Vogelarten, die seit 1940 als Brutvögel heimisch geworden sind. Damit wird deutlich, dass die Einteilung der Tiere und Pflanzen in fremd und einheimisch in vielen Fällen primär eine Frage des Standpunktes und des verwendeten Zeithorizontes ist.

### Speziell unter Druck: die Inselflora und -fauna

Besonders gefährdet durch Fremdlinge sind Arten auf Inseln. Durch die räumliche Isolation vom Festland haben Fauna und Flora eine unterschiedliche Entwicklung durchgemacht und sind u.U. den eingeschleppten Krankheiten und Raubtieren ohne Schutzmechanismen hilflos ausgeliefert [2]. Die Besiedlung Neuseelands mit Katzen, Hunden und Ratten – von den Europäern im 19. Jh. mitgebracht – wurde für viele flugunfähige Vögel zur Katastrophe. Ziegen und Schweine, als Fleischlieferanten für Seefahrer auf den Galapagos ausgesetzt, fressen

auch heute noch die Inseln kahl und zerstören diesen aussergewöhnlichen Lebensraum – zusätzlich zu den zahlreichen anderen Bedrohungsfaktoren. Die Erfahrung lehrt, dass man selbst mit sehr grossem Aufwand eingeschleppte Arten nicht wieder loswerden konnte.

### Aktuelle Beispiele eingeführter Pflanzenarten

Der Mensch beeinflusste die Artenvielfalt in zweierlei Hinsicht: einerseits konnten Organismen an Orte gelangen, wo sie ohne dessen Hilfe nie hingekommen wären und andererseits entstanden viele neue Lebensräume (Flachmoore, Halbtrockenrasen, Obstgärten etc.). Zu den ehemals fremden Arten gehören eine grosse Zahl der Nutzpflanzen: Kartoffeln, Tomaten, Mais, Bohnen, Karotten, Lauch, Tabak etc. Ein Blick in einen beliebigen Garten zeigt uns, dass neben den Nutzpflanzen auch Zierpflanzen in grossen Mengen eingeführt wurden und immer noch werden. Viele dieser Pflanzen brauchen Pflege und können sich in der Schweiz ausserhalb der Gärten und Felder nicht ausbreiten. Ihnen fehlen beispielsweise Schutzmechanismen gegen die Winterkälte oder sie werden von konkurrenzfähigeren Arten in Schach gehalten, sie wachsen zu langsam oder sie finden nicht genügend Wasser und Nährstoffe. Einige Arten sind allerdings sehr konkurrenzstark und breiten sich entsprechend grossflächig aus. Die gelbblühende und bis zu 2 m hohe Goldrute (*Solidago canadensis*) besiedelt heute Bahnborde, Ruderalflächen und Riedwiesen und wird dadurch zum Problem für den Naturschutz. Das rosafarbene, intensiv riechende Asiatische Springkraut (*Impatiens glandulifera*) breitet sich entlang von Gewässern im gesamten Mittelland aus. Im Falle der Goldrute wird mit grossem Aufwand versucht, mit Hilfe von ausgeklügelten Mährythmen oder speziellen Behandlungen (Abbrennen, Abdecken, Jäten) die Bestände lokal auszudünnen – bis jetzt allerdings erfolglos.

### Aktuelle Beispiele fremder Tierarten

Bei der Fischfauna steht in der Schweiz die Regenbogenforelle zuoberst auf der Liste der prominenten Fremdlinge in unseren Gewässern. Weltweit wurden 160 Fischarten im grossen Stil verbreitet und ausgesetzt. In der Schweiz ist die Regenbogenforelle unterdessen die am weitesten verbreitete Fischart. Sie wurde als Speisefisch importiert und eroberte dank ihres natürlichen Wandertriebes und ihrer Konkurrenzstärke seit Ende des 19. Jahrhunderts erfolgreich neue Lebensräume. Der Rote Sumpfkrebs ist ein weiterer Vertreter eingeschleppter Tierarten. Er stammt aus Nordamerika und wurde aus den gleichen Gründen wie viele Fische weltweit ausgesetzt. Dank seiner Schnellwüchsigkeit und seinem anspruchslosen Wesen wird er in vielen Aquakulturen gezüchtet. In den meisten westeuropäischen Ländern vermehrt er sich aber bereits ausserhalb von Zuchtbecken. Auch in der Schweiz hat der Rote Sumpfkrebs, soweit bekannt, im Kanton Aargau und im Kanton Zürich Fuss gefasst. Das Medieninteresse rund um diese Krebsart mag den Eindruck erweckt haben, dass es sich bei dieser Art um die einzige fremde Krebsart in der Schweiz handeln würde. Dem ist aber nicht so. Zwei weitere Krebse aus Nordamerika und eine Art aus Osteuropa konkurrieren ebenfalls unsere drei einheimischen Arten. Die grösste Gefahr geht in diesem Fall nicht von der direkten Konkurrenz um Lebensraum und Nahrung aus, sondern von einer Pilzkrankheit, welche die amerikanischen Arten übertragen, ohne selbst daran zu erkranken. Die einheimischen Krebse gehen innerhalb kurzer Zeit an der sog. «Krebspest» zugrunde.

### Der Tourismus öffnet Tür und Tor

Nebst dem weltweiten Handel mit organischem Material eröffnet auch der Tourismus neue Möglichkeiten für die Ausbreitung von Organismen. Die

grosse Zahl der Touristen und die Kleinheit der benötigten Pflanzenteile (Samen, Stecklinge) machen wirksame Grenzkontrollen unmöglich. Um so mehr Gewicht muss auf die Information und Selbstverantwortung der Reisenden gelegt werden. Eine grosse Gefahr ist die Verschleppung von Krankheiten. Aus diesem Grund ist z.B. die Einfuhr von Rosengewächsen untersagt. Der nur auf Rosengewächsen vorkommende Feuerbrand ist eine gefürchtete Pilzkrankheit und kann leicht mit den entsprechenden Pflanzenteilen eingeschleppt werden. Er befällt viele Zierpflanzen und Obstbaumkulturen wie z.B. Apfel- und Birnbäume. Tier- und Pflanzenarten aus anderen Ländern gehören also auf keinen Fall ins Reisegepäck.

### Blick in die Zukunft

Die Einwanderungsrate von Pflanzen wird in Zukunft eher abnehmen, da jene Arten, die ein grosses Verbreitungspotential haben, unterdessen bereits weit über die Erde verbreitet sind [4]. Allerdings wird die Klimaveränderung dazu beitragen, dass sich die bestehenden Konkurrenzverhältnisse zwischen verschiedenen Arten verschieben werden, was lokal zum Auftauchen neuer Arten und zum Verschwinden bestehender Vorkommen führen wird [4]. Die manipulierte Artenzusammensetzung wie wir sie heute haben, kann als grosses evolutionsbiologisches Experiment betrachtet werden: In wenigen hundert Jahren haben wir die natürlich gewachsene Verteilung der Arten so arg durchgeschüttelt, dass heute kaum absehbar ist, welche Konsequenzen dieser Eingriff langfristig haben wird [5].

### Der Umgang mit fremden Arten

Wir können das Rad der Ansiedlung fremder Tier- und Pflanzenarten nicht einfach zurückdrehen, doch muss versucht werden, die bestehende Artenvielfalt für die Zukunft zu sichern. Prioritär ist dabei die Erhaltung der naturnahen Lebensräume. Hier müs-

sen noch grosse Anstrengungen unternommen werden.

Eingeschleppte Arten sind ein zusätzlicher Stressfaktor in den bereits arg unter Druck stehenden Ökosystemen. Es können keine Prognosen über die Ausbreitung und Wirkung von exotischen Arten in einer neuen Umgebung gemacht werden [6, 7]. Deshalb muss das Vorsorgeprinzip angewendet und das Verfrachten und Aussetzen von fremden Tier- und Pflanzenarten grundsätzlich verhindert werden, wie dies in der bestehenden Gesetzgebung bereits verlangt wird. Dasselbe gilt für genetisch veränderte Organismen, die

in diesem Sinne wie fremde Arten zu behandeln sind und deren Freisetzung ein unkalkulierbares Risiko für ein Ökosystem darstellt. Der Handel mit Arten, welche Krankheiten übertragen oder die sich unkontrolliert vermehren und verbreiten können, muss streng überwacht werden. Und bei bereits eingeschleppten Arten muss durch geeignete Massnahmen versucht werden, sie unter Kontrolle zu halten.

Bei Reisenden und der Bevölkerung muss das Verständnis für die einschränkenden Bestimmungen verbessert werden, indem über die Gefahren informiert wird.

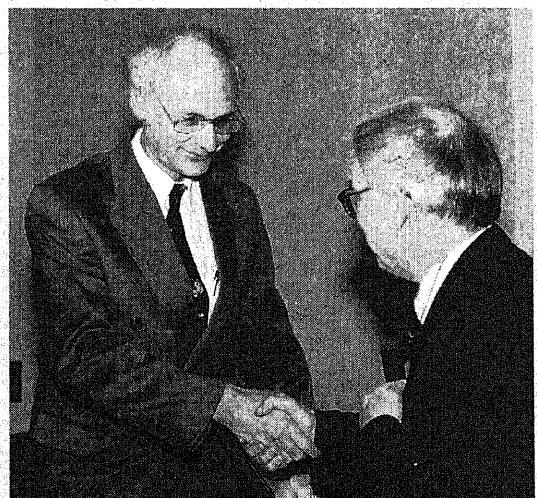
- [1] Gigon A. (1994): Was ist Naturschutz? Wieso Naturschutz? Skript ETH Zürich, unveröffentlicht.
- [2] Loope L.L. & Müller-Dombois D. (1989): Characteristics of invaded islands, with special reference to Hawaii. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE, 37, S. 257-280.
- [3] Kornas J. (1990): Plant invasion in central Europe: historical and ecological aspects. In: Biological invasions in Europe and the mediterranean basin, Eds. di Castri F., Hansen A.J. and Debussche M., Kluwer Academic Publishers, Vol 65, S. 19-36.
- [4] Di Castri G. (1990): On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. In: Biological invasions in Europe and the mediterranean basin, Eds. di Castri F., Hansen A.J. and Debussche M., Kluwer Academic Publishers, Vol 65, S. 3-16.
- [5] Ian A.W., Loope L.L., Usher M.B. and Hamann O. (1989): Wildlife conservation and the invasion of nature reserves by introduced species: a global perspective. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 215-256.
- [6] Ashton P.J., Mitzhell D.S. (1989): Aquatic plants: patterns and modes of invasion, attributes of invading species and assessment of control programmes. Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 111-154.
- [7] Kruger F.J., Breytenbach G.J., Macdonals I.A.W. and Richardson D.M. (1989): Eds. Drake J.A. et al., SCOPE 37, S. 181-214.

## Greinacher Preis

Jürg Beer, Leiter der Gruppe Radioaktive und Chemische Tracer der Abteilung Umweltphysik an der EAWAG und Dozent an der ETH Zürich, und Peter Jenni (CERN) erhielten zu gleichen Teilen den 1998 erstmals mit 30 000 Franken dotierten Preis der Professor Heinrich Greinacher Stiftung.

Die beiden geehrten Wissenschaftler haben an der Universität Bern studiert und seither auswärts eine hervorragende Laufbahn absolviert. Heinrich Greinacher war 1924-1952 Professor für Physik und Direktor des Phys. Instituts an der Universität Bern.

Jürg Beer erhält die Auszeichnung «für seine phantasievollen und erfolgreichen Bemühungen, interessante Anwendungsgebiete der Beschleuniger-Massenspektrometrie zu erschliessen, sowie für seine herausragenden Beiträge bei der Untersuchung der Sonnenvariabilität und deren Auswirkungen auf das Klima der Erde».



Schlagzeilen nach der Pressekonferenz vom Januar 1998

# Noch ein Drittel Strom pro Kopf

Zürich: Die ETH geht mit der Vision einer 2000-Watt-Gesellschaft in die Energie-Offensive

Die ETH lanciert eine Offensive im Bereich der nachhaltigen Entwicklung

**2000-Watt-Bürger als Ziel des ETH-Bereichs**

**Nachhaltigkeit – Thema von Lehre, Forschung und Diensten**

Der ETH-Rat betrachtet die technischen Hochschulen als eine Strategie

**ETH-Forschung lanciert eine Umweltoffensive**

Zürich. Die Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH) und ihre Partner bündeln die Umweltoffensive als gemeinsame Zielsetzung

**2000 Watt sind genug**

Die ETH will sich für eine nachhaltige Anwendung der Energie einsetzen.

Von Beat Gerber

oll wesentlich mehr gestalten des Studienverlaufs. Um die notwendigen Punkte im System vorzulegen, ist ein System in der ETH in Zürich vorgesehen. Er hat die Punkte im

Neuausrichtung griff zu bekund der ETH-Bereich die Leitidee 2000-Watt-Gesellschaft geschaffen. Weltbevölkerung soll pro Kopf a Dauer nicht mehr als 2000 Watt En leistung beanspruchen und damit die mögliche Klimaerwärmung in v wortbaren Grenzen

Der ETH-Bereich umfasst die beiden Eidg. Techn. Hochschulen in Zürich und Lausanne sowie die Forschungsanstalten PSI, WSL, EMPA und EAWAG. Er bekennt sich mit der «Strategie Umwelt» zur globalen, nachhaltigen Entwicklung. Dies bedingt Neuorientierungen in Lehre, Forschung und Dienstleistungen. Für die Konkretisierung der Nachhaltigkeit wurde der Leitgedanke einer 2000 Watt-Gesellschaft geschaffen.

Pro Kopf soll die Weltbevölkerung auf die Dauer nicht mehr als 2000 Watt Energieleistung beanspruchen. Dank konsequenter Entwicklung und kostengünstiger Implementierung von Innovationen zur Steigerung der Energieeffizienz sollte diese Vision für die Schweiz innert 20 bis 30 Jahren ohne wesentliche Einbusse an nützlichen Energiedienstleistungen zu realisieren sein.

Mit 2000 Watt pro Kopf der Weltbevölkerung liesse sich die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration auf 560 ppm (560 CO<sub>2</sub>-Teilchen pro Million Luftteilchen) limitieren und damit die mögliche Klimaerwärmung in verantwortbaren Grenzen halten. Für die Schweiz mit ihrem derzeitigen Bedarf von 6500 Watt Leistung pro Person bedeutet es eine Optimierung der Energienutzung bei gleichzeitiger Reduktion des Energieverbrauchs um gut zwei Drittel.

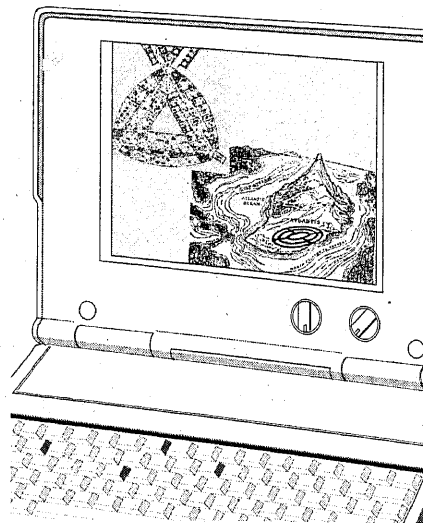
Der ETH-Rat möchte seine Innovationen für eine nachhaltige Zukunft in enger Zusammenarbeit mit der Wirtschaft machen und damit nicht zuletzt den Arbeitsplatz Schweiz stärken.

## Defizite erkannt?

Im Jahre 1995 hat der ETH-Rat eine Analyse der «Umweltwissenschaften im ETH-Bereich» in Auftrag gegeben.

Dabei ergaben sich für Lehre und Forschung zwar hohe naturwissenschaftliche und technische Kompetenzen in Umweltfragen, aber auch ein mangelhafter Einbezug ökonomischer und sozialwissenschaftlicher Aspekte.

Der ETH-Rat lancierte deshalb das Projekt «Strategie Umwelt». Damit will der ETH-Bereich zusammen mit seinen nationalen und internationalen Partnern einen bedeutenden Beitrag zur Entwicklung einer nachhaltigen Gesellschaft leisten. Intern werden



Bühne frei für die virtuelle urbane Planung von Nova Atlantis (oben Öko-Hochhaus [Fingerhuth, «Die Gestalt der Postmodernen Stadt»), unten Paul Schliemanns Atlantis [Richner]) auf <http://www.novatlantis.ch>.

neben Verbesserungen in Forschung, Lehre und Forschungsdienstleistungen vor allem auch umweltrelevante Kooperationen mit der Wirtschaft und mit dem Finanzplatz Schweiz angestrebt werden.

## Auswirkungen auf Studien

Soll sich unsere Gesellschaft zu vermehrt umweltschonendem und nachhaltigem Leben und Wirtschaften wandeln, muss das Umdenken auch in der akademischen Ausbildung ansetzen. Den Studentinnen und Studenten an den ETH will man wesentlich mehr Spielraum im Gestalten ihrer Studiengänge gewähren.

Mit einem einheitlichen Kreditssystem erhalten die Studierenden für die künftig reduzierten Pflichtvorlesungen eine bestimmte Anzahl Gutschriftspunkte und können sich die für das Diplom nötigen zusätzlichen Punkte durch frei wählbare Pakete an anderen Departementen oder Schulen (etwa in Umweltwissenschaften, in Business Administration oder in Sozialwissenschaften) sammeln.

## Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft

Der ETH-Rat möchte eine Wirtschaftsplattform errichten, die insbesondere auch der gemeinsamen Entwicklung nachhaltiger Technologien dienen soll und zu konkurrenzfähigen Produkten führen. Die Projekte sollen von speziellen Wirtschaftsplattform-Professoren und -Professorinnen geleitet werden – Personen, die sich neben fachlichen Qualitäten durch unternehmerisches Flair und Sinn für Fragen der Nachhaltigkeit auszeichnen.

## Kultur der innovativen Risikofreudigkeit

Mit der auf dem Internet etablierten virtuellen urbanen Region Nova Atlantis stellt der ETH-Rat sein Umwelt-Engagement weltweit zur Diskussion und lädt die internationale Gemeinschaft zum Mitmachen ein.

# 5 Jahre PEAK

*Forschungsergebnisse können am schnellsten und wirkungsvollsten durch Weiterbildung umgesetzt werden. Im Rahmen von PEAK, den Praxisorientierten EAWAG-Kursen, bietet die EAWAG deshalb seit 1993 Weiterbildungsveranstaltungen für Fachleute aus der Privatwirtschaft und der Verwaltung an. ReferentInnen aus allen Abteilungen der EAWAG und aus Partnerinstitutionen stellen dabei neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Forschung vor. PEAK sind in der Regel kurz (wenige Tage), interdisziplinär und werden nicht wiederholt.*

## Die Kurse von 1993 bis 1997

Als vor etwa 10 Jahren Umweltthemen in den Normalstudiengängen Einzug hielten, gab es erst wenige Möglichkeiten zur Weiterbildung für praktizierende UmweltwissenschaftlerInnen. Diese mussten sich ihr Wissen an Konferenzen und autodidaktisch selber zusammenkratzen. Auf Wunsch und in Zusammenarbeit mit den kantonalen Gewässerschutzfachleuten hat die EAWAG deshalb ein Weiterbildungsangebot konzipiert und auf die Beine gestellt: PEAK.

Vom 13. bis 17. September 1993 fand im Forschungszentrum für Limnologie der EAWAG in Kastanienbaum (LU) der erste der Praxisorientierten EAWAG-Kurse statt: «Die Bedeutung von Gewässermorphologie und -typus für Wasserorganismen». Seither wurden im Rahmen von PEAK 32 Kurse mit insgesamt 156 Kurstagen durchgeführt. Die dabei interdisziplinär behandelten Themen widerspiegeln ein breites Spektrum der EAWAG-Forschung, mit Schwerpunkten in der Abwasserreinigung, der Trinkwasseraufbereitung, der chemischen Umweltanalytik, dem Verhalten von Stoffen in natürlichen Systemen, der Fliessgewässeruntersuchung, der nachhaltigen Bewirtschaftung von Ressourcen sowie der Abwasser- und Fäkalienentsorgung in Entwicklungsländern.

1994/95 wurde das Nachdiplomstudium «Siedlungswasserwirtschaft und Gewässerschutz» (NDS) von der ETH Zürich neu konzipiert und PEAK als integrier-

render Bestandteil des einjährigen Studiums mit einbezogen. Um die neuen Anforderungen zu erfüllen, musste darauf das Angebot an Kursen sowie deren Dauer erhöht werden (s. Tabelle). Mit 53 Kurstagen und einer durchschnittlichen Kurslänge von 6.6. Tagen führte das zu einer starken Belastung der ReferentInnen und zu Problemen bei den Fachleuten aus der Praxis. Diese bekundeten nämlich Mühe, Kurse von mehr als 2–3 Tage Dauer zu besuchen. Heute hat sich das Kursangebot bei 30 Tagen/Jahr eingependelt.

Typisch für PEAK ist, dass die Kurse ein sehr breites Spektrum von Themen abdecken und bisher kaum Wiederholungen vorgekommen sind. Es fühlen sich daher immer wieder andere Personenkreise angesprochen. Bisher haben denn auch die meisten TeilnehmerInnen nur einen Kurs besucht. Insgesamt zählen wir über diese 5 Jahre 65 Einzelpersonen, ca. 160 verschiedene Firmen und ca. 90 öffentliche Fachstellen, Ämter und Labors zu unserer Kundschaft.

Jahr	Kurse	Kurstage	Tage/Kurs	Personen
1993	3	10	3.3	105
1994	5	14	2.8	143
1995	8	53	6.6	215
1996	9	47	5.2	180
1997	7	32	4.6	143
Total	32	156	4.9	786

*Übersicht über die bisherigen Veranstaltungen von PEAK. 1995 haben erstmals die StudentInnen des Nachdiplomstudiums Siedlungswasserwirtschaft und Gewässerschutz (NDS) der ETH Zürich an den Kursen teilgenommen.*

Jede Firma oder Amtsstelle war dreimal an einer PEAK-Veranstaltung vertreten.

## Reaktionen von KursteilnehmerInnen

Natürlich spüren KursleiterInnen und ReferentInnen selber, wie die Stimmung in den Kursen ist, diese Empfindungen sind jedoch punktuell, subjektiv und nehmen mit zunehmender zeitlicher Distanz eine positive Färbung an. Die TeilnehmerInnen jedes Kurses werden deswegen jeweils gebeten, einen relativ umfangreichen Fragebogen zum Kurs auszufüllen. Damit verfügen wir über eine Evaluation der Kurse aus der Sicht unserer KundInnen und erhalten gleichzeitig vielfältige Ideen zur Gestaltung des Programmes. Zur Illustration einige Beispiele von Bemerkungen von KursteilnehmerInnen:

«Der wissenschaftliche Input der EAWAG im praxisorientierten Bereich ist für die Verwaltungsbehörden eine grosse Hilfe und sollte ausgebaut werden»

«Die Referate waren (aus Zeitgründen) etwas zu hektisch gehalten.»

«Die Alpenexkursion fand ich sehr eindrücklich.»

«Utopien an Realitäten messen, aber auch Utopien weiterverbreiten.»

«Der Anteil (Hintergrundtheorie) war grösser als erwartet.»

«Für gewisse Teilnehmer sind die Kurse völlig quer in der Landschaft plaziert.»

«Die gelöste Kursatmosphäre und die Motivation der Veranstalter hat mir besonders gut gefallen.»

«Ein Weiterbildungsbedarf, den die EAWAG abdecken sollte, besteht bei den Themen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft, Stoffkreisläufe im Betrieb, Wirtschaftlichkeit.»

Die Reaktionen der KursteilnehmerInnen waren mehrheitlich durchaus positiv und gaben wertvolle Hinweise für Verbesserungen. Sie wirken motivierend und helfen, die gute Kursatmosphäre zu schaffen, welche in den Frage-

# PEAK Programm 1998

bogen als positiver Aspekt häufig erwähnt wird. Einen Punkt, den wir aus den Rückmeldungen gelernt haben, möchte ich aber noch ganz besonders hervorheben: Es lohnt sich, die Kursausschreibungen sehr sorgfältig zu machen, um das richtige Zielpublikum anzusprechen und um keine falschen Erwartungen zu wecken.

## Wie geht es weiter mit PEAK?

Weiterbildungsbedarf und -angebot nehmen zu. Die fantastischen Möglichkeiten der Informationstechnologie eröffnen neue Wege der Wissensvermittlung oder – besser – des Wissensdialogs. Die EAWAG will sich diesen Herausforderungen aktiv stellen und PEAK entsprechend weiterentwickeln. Wichtige Stossrichtungen dabei sind eine vermehrte partnerschaftliche Zusammenarbeit mit anderen Hochschulen, Fachhochschulen und der Praxis, der bessere Einbezug der TeilnehmerInnen durch moderne didaktische Methoden und die Nutzung neuer Informationstechnologien. Dem punktuellen Kursangebot von PEAK wird ein Integralkurs beigegeben, in welchem die wichtigsten Fragen rund um das Wasser und die Gewässer ganzheitlich behandelt werden. Dabei soll nicht nur das grosse Potential der EAWAG an multi- und interdisziplinärer Erfahrung einfließen, sondern es sollen auch externe Partnerschaften eingegangen werden.

*Herbert Güttinger, Leiter PEAK*

- 10.–14.8.98 **Fließgewässer: Ökologie und Wasserbau (A4/98)**  
(17.–21.8.98) Moderne Ansätze zur Beurteilung und Bewertung von Fließgewässern, Methoden für die interdisziplinäre Bearbeitung von wasserbaulichen Vorhaben und Konzepte zur Bachgestaltung.  
*Michael Hütte, Armin Peter, Lukas Hunziker*
- 1.–2.9.98 **«Integrated Assessment» von Umweltproblemen (B6/98)**  
Konzepte und Instrumente zur Erfassung und politikorientierten Bewertung von komplexen Umweltproblemen.  
*Gregor Dürrenberger, Claudia Pahl-Wostl*
- 7.–8.9.98 **Modellierung natürlicher Systeme – Möglichkeiten und Grenzen (B4/98)**  
Möglichkeiten und Grenzen der Modellanwendung für Systemidentifikation, Planung von Messungen und Modellprognosen.  
*Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner*
- 11.9.98 **Stoffflüsse verstehen – Stoffflüsse lenken, Infotag**
- 14.–18.9.98 **Einsatz von Biofilmsystemen in der Abwasserreinigung (A8/98)**  
Einführung in die Biofilmkinetik und praktische Anwendungen zur Nitrifikation und Denitrifikation (Festbett, Wirbelbett, Rotierender Tauchkörper, Flockungsfilter).  
*Markus Boller, Max Maurer, Hansruedi Siegrist*
- 22.–24.9.98 **Taxonomie und Ökologie aquatischer Organismen: Teil 1: Trichopteren**  
*Klement Tockner, Wolfram Graf, Johann Waringer*  
Die Erforschung der biologischen Vielfalt von Flüssen, Feuchtgebieten, Grundwässern und Seen setzt gute systematische Kenntnisse der Art- und Lebensgemeinschaften voraus. Auf Initiative der Abteilung Hydrobiologie/Limnologie startet die EAWAG daher eine Kursreihe zur Ausbildung in der Taxonomie der aquatischen Fauna. In dreijährigen Zyklen sollen jeweils sechs ausgewählte Tiergruppen vorgestellt und besprochen werden. Zur Teilnahme sind DiplomandInnen, DoktorandInnen und Mitarbeiter der EAWAG und ETH, insbesondere aber auch MitarbeiterInnen von Ökobilros, kantonalen Ämtern und Umweltschutzorganisationen eingeladen. Dr. J. Waringer und Dr. W. Graf, international herausragende Taxonomen, werden uns im ersten Teil in die Welt der Köcherfliegen einführen.
- 28.–29.9.98 **System Identification and Modelling using AQUASIM (B7/98 in englisch)**  
Introduction to the use of AQUASIM, a flexible computer program for the analysis of data and for the simulation of natural and technical aquatic systems.  
*Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner*
- 30.09.–1.10.98 **Modelling of rivers with AQUASIM (V17/98 in englisch)**  
Usage of AQUASIM for the simulation of cross-sectionally averaged water flow, substance, transport and conversion processes in rivers.  
*Gerrit Goudsmit, Peter Reichert, Oskar Wanner*
- 6.–8.10.98 **Wasserversorgung und Siedlungshygiene in Entwicklungsländern: Wasserversorgung und Trinkwasseraufbereitung (V18/98)**  
Systeme und Techniken für die Wasserversorgung mit Schwergewicht Trinkwasseraufbereitung in ländlichen und halbstädtischen Regionen von Entwicklungsländern.  
*Martin Wegelin*

Anschrift: PEAK-Sekretariat, EAWAG, CH-8600 Dübendorf.

Fax: 0041-1-823 53 75; e-mail: heidi.gruber@eawag.ch

Aktuelles Programm auf <http://www.eawag.ch/Courses/peak.html>

OECD Workshop vom 5. bis 8. Juli 1998

## Molecular Technologies for Safe Drinking Water

Vom 5. bis 8. Juli findet in Interlaken ein internationaler Workshop zum Thema molekulare Methoden für sicheres Trinkwasser statt.

Im Auftrag der OECD und in Zusammenarbeit mit dem BBW, dem BUWAL und dem BAG organisieren Dr. M. Snozzi und Dr. T. Egli diesen Workshop, der von Direktor Prof. Dr. A.J.B. Zehnder präsiert wird. Internationale

Experten auf dem Gebiet der Trinkwasser-Mikrobiologie sollen über den gegenwärtigen Stand des Wissens in diesem Bereich berichten und sich Gedanken machen über die notwendigen Forschungsanstrengungen zur Einführung moderner molekularbiologischer Methoden.

Weitere Informationen sind über das Sekretariat der Mikrobiologie erhältlich.

## Eine leistungsstarke Institution braucht qualifizierte MitarbeiterInnen

*Weiterbildung ist ein wichtiger Bestandteil des beruflichen Werdegangs. Wer jahrelang derselben Tätigkeit nachgeht und nicht für neue Entwicklungen in seinem Feld oder der Gesellschaft offen ist, wird den täglichen Anforderungen irgendwann nicht mehr gerecht werden können.*

Für die Arbeit in einer wissenschaftlichen Institution gilt dies um so mehr, als die Wissensmenge in den einzelnen Fachgebieten beständig wächst. Zudem werden neue Arbeitsstrategien nötig, z.B. wenn sich traditionelle Disziplinen auflösen oder mit Nachbardisziplinen vernetzen. Und schliesslich werden auch Kontakte zur Praxis immer wichtiger, damit die gewonnenen Forschungsergebnisse konkret genutzt werden können.

### **Persönlichkeitsbildung gewinnt an Terrain**

Zusätzlich zum fachbezogenen Aspekt wird immer mehr Gewicht auf die «Persönlichkeitsbildung» gelegt: Eine Institution wird in der Öffentlichkeit durch ihre MitarbeiterInnen vertreten und muss dafür Sorge tragen, dass diese ihre Aufgabe zur Zufriedenheit erfüllen können. Sie muss auch intern für gute Arbeitsstrukturen sorgen, damit ein kreatives Arbeitsklima Bestand hat, das nicht durch Personalquerelen oder organisatorische Schwierigkeiten behindert wird.

### **Selbstverständnis der EAWAG**

Die EAWAG ist hier auf gutem Wege: Ihre MitarbeiterInnen haben das Recht (und prinzipiell auch die Pflicht), 5% ihrer Arbeitszeit für Weiterbildung zu verwenden. Dieses Konzept ist seit 1996 verbindlich und hat seine Quellen in Weisungen des Bundes sowie im Leitbild, dem sich die EAWAG seit 1994 verpflichtet hat. Ziel ist es, MitarbeiterInnen zu fachkompetenten und teamfähigen Persönlichkeiten auszubilden, die selbständig und eigenverantwortlich handeln. Auf allen Stufen sollen Führungsqualifikationen und

Verantwortungsbewusstsein gestärkt werden. Dies geschieht über vier Weiterbildungsschwerpunkte:

- die spezifische Fachausbildung,
- die allgemeine Ausbildung (z.B. Didaktik),
- die Persönlichkeitsbildung,
- die Führungsausbildung.

### **Gegenwärtige Situation**

Eine 1997 durchgeführte Umfrage unter allen MitarbeiterInnen der EAWAG ergab, dass zwischen den Weiterbildungswünschen und den tatsächlich genutzten Weiterbildungsangeboten noch eine grosse Lücke klafft. Die Zahl derjenigen, die sich ein bestimmtes Weiterbildungsangebot wünschen, übersteigt die Zahl der Personen, die ein solches bereits genutzt haben, um das Dreifache. Diese Lücken zu schliessen ist eine der grossen Aufgaben für die Zukunft.

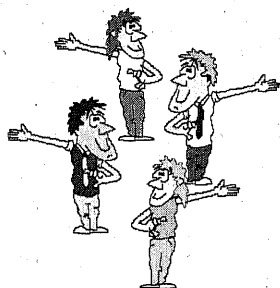
Gegenwärtige Interessenschwerpunkte des Personals sind die Vertiefung von Kompetenzen im eigenen Fachgebiet, das Kommunizieren von Wissen an Fachpersonen und Laien, die Projekt- und Arbeitsplanung sowie der Erwerb wichtiger Zusatzqualifikationen wie Sprachen oder Informatik. Einer stärkeren transdisziplinären Vernetzung wird jedoch eher ambivalent gegenüber gestanden: Zwar interessiert sich ein grösserer Anteil der MitarbeiterInnen für die Organisation von

Projekten in Zusammenarbeit mit anderen Partnern, doch halten nur wenige den Erwerb von Kenntnissen in neuen Fachgebieten für notwendig.

Verschiedene Gremien bemühen sich, den Wünschen des Personals entgegenzukommen. So konnte z.B. die seit einiger Zeit bestehende Sprachausbildung auf einem hohen Niveau stabilisiert werden, und es sind Kurse in Planung, die sich der Kommunikation und dem Projektmanagement widmen. Schon seit 1993 wird eine eigene Führungsausbildung angeboten. Auch wenn die EAWAG selbst nicht allen Bedürfnissen ihrer MitarbeiterInnen entgegenkommen kann, so ist sie doch mit der ETH und bundeseigene Stellen, die selbst über ein reichhaltiges Weiterbildungsangebot verfügen, eng vernetzt.

### **Weiterbildung für Doktorierende**

Immer wichtiger wird auch die Ausbildung der Doktorierenden. Bis 1992 wurde als Zusatzqualifikation zur eigentlichen Dissertation im ETH-Bereich ein Nachdiplomstudium verlangt. Seither lag die Weiterbildung der Doktorierenden in den Händen der Forschungsabteilungen der einzelnen Institute und wurde mit unterschiedlicher Intensität verfolgt. Um jedoch langfristig allen Doktorierenden einen gleichen Zugang zu Weiterbildungsangeboten zu garantieren und eine minimale Weiterbildung zu sichern, wird derzeit ETH-weit ein neues Rahmenkonzept für die Weiterbildung entwickelt. Die Doktorierenden der EAWAG haben hierzu eigene Vorschläge entwickelt, die sich in dieses Konzept einpassen lassen. Weiterbildung wird dabei explizit als Bestandteil der Doktoratszeit angesehen. Neben einem Pflichtteil wird auch ein grösserer zeitlicher Rahmen für weitergehende freiwillige Weiterbildungsaktivitäten vorgesehen. Die



## Zur Pensionierung von Heidi Bolliger

Als sie vor über 30 Jahren,  
damals noch mit braunen Haaren,  
an der EAWAG begann zu malen,  
schrieb man Titel, Text und Zahlen  
mit Tinte aus der Tuschpatrone  
und natürlich mit Schablone.

Ihr Arbeitsplatz war riesengross,  
ihr Zeichertisch ein halbes Floss.

Da zeichnete sie für den «Engineer»  
Abwasserkanäle auf Pauspapier,  
Becken, Behälter, Wannen und Dämme,  
für tropfende Körper, belebte Schlämme,  
im Grund- und Auf- und Seitenriss  
frühmorgens bis zur Finsternis.

Später zählt sie zu ihren Fans  
einen guten Teil des Chemikerclans.

Sie sah, wie pH's in Diagrammen  
hauptsächlich von chemischen Forschern stammen

und schuf zum Wohl am amerikanischen Volke  
die berühmt-berüchtigte Stumm'sche Wolke,  
ein aquatisch-chemischer Datenhaufen,  
groszügig umhüllt mit schönen Schlaufen.

Linien, Kurven dünn und dick,  
gestrichelt, punktiert mit Kennerblick.

So zauberte sie mit simplem Gerät  
Zeichnungen bester Qualität

für Wissenschaftler aller Art,  
für Forscher mit und ohne Bart.

Ihre Kunst ward alsbald weltbekannt  
und über den ganzen Globus versandt.

Stolz wurde, was Heidi fabriziert,  
an Konferenzen präsentiert.

Und alle Welt sah sofort ein,  
das muss eine Bolliger-Grafik sein,  
gezeichnet mit sicherer fester Hand,  
ein Kunstwerk aus dem Heidiland.

Da plötzlich änderte sich die Szene  
und Angst schoss kurz in ihre Vene.

Brutal brach ins Grafikerkammerlein  
das Zeitalter von PC und CAD ein.

Schluss mit all dem Tusche-Geschmier,  
mit leintuchgrossen Fetzen Papier.



Der Wechsel zum EDV-Gerät  
verlangte Flexibilität.

Designer, Canvas, Photoshop,  
erlernte sie im gestreckten Galopp.

Vorbei mit der grossen Zeichenwand,  
nun hat sie die kleine Maus in der Hand.

Mit der schafft sie in Windeseile  
Strichlängen von über einer Meile  
an einem einzigen Arbeitstag  
und erst noch farbig, was jeder mag.

Clip Art, Klick, Save und Preview  
so zeichnet sie heute Figuren im Nu.

Gescannt, auf Folie, auf Papier,  
geprintet in buchdruckhafter Manier  
stellt sie mit Kreisen und Rhomboiden  
die stetig wachsende Kundschaft zufrieden.

Für viele der hochgebildeten Kunden  
verbrachte sie manche Überstunden,  
in denen sie heimlich und leise fluchte  
und Hieroglyphen zu lesen versuchte.

Oft war den Kunden selbst nicht klar,  
was eigentlich zu zeichnen war  
und überliessen das Was und Wie  
einfach Heidis Phantasie.

Mit Glück und oftmals auch mit Stress  
fühlte sie den Stolz indes,

so viele aquatische «Paper»-Narzissen  
täglich um sich herum zu wissen  
und für berühmte Zeitgenossen,  
Grafiken «en masse» auszustossen.

Gross war die Zahl der wohlbekannten  
EAWAG-Wissenschafts-Publikanten,  
die täglich die netten Zeichnungsdamen  
für ihre Zwecke in Anspruch nahmen.

Dank suchthaft heftigem Publizieren  
können wir heute gratulieren.

Denn die Werke aus Heidi Bolligers Hand  
wurden als «Juwels from Switzerland»,  
in Zeitschriften und Büchern zur Schau gestellt,  
zu den meist publizierten Figuren der Welt.

Heidi, Du wirst uns bald verlassen  
zum Unheil der traurigen Anstalts-Insassen.

Wir danken Dir für Strich und Faden  
aus Deinem geschätzten Zeichnungsladen.

Wir wünschen in stehender Ovation:  
«Alles Gute zur Pension!»

*Markus Boller*

EAWAG hat diese Vorschläge sehr  
offen aufgegriffen und bemüht  
sich, selbst Kurse für ihre Dokto-  
rierenden anzubieten oder solche  
zu vermitteln.

### Aufgaben für die Zukunft

Insgesamt ist also vieles in Bewe-  
gung. Doch trotz der vielfältigen  
Weiterbildungsmöglichkeiten gibt  
es in manchen Abteilungen Dis-  
kussionen, ob nicht «wertvolle  
Arbeitszeit durch Weiterbildung  
verloren geht». Der Begründungs-

zwang zur Wahrnehmung von  
Weiterbildungsangeboten kann  
unter Umständen sehr hoch sein  
und dazu führen, dass lieber auf  
die Teilnahme an einer Weiter-  
bildungsveranstaltung verzichtet  
wird statt lange Abteilungsdebat-  
ten zu führen. Hier sollten sich  
Führungskräfte auf allen Ebenen  
aufgerufen fühlen, Weiterbildung  
nicht als Last, sondern als Chance  
zu begreifen und ihre KollegInnen  
zu ermuntern, ihre Bedürfnisse  
zu äussern und regelmässig Weiter-

bildungsangebote wahrzunehmen.  
Die Personalvertretung der  
EAWAG (PV) unterstützt solche  
Aktivitäten und fungiert als Ver-  
mittlerin zwischen dem Personal  
und den Weiterbildungsverant-  
wortlichen. An sie kann man sich  
sowohl mit konkreten Wünschen  
zur Durchführung von Weiter-  
bildungsmassnahmen als auch mit  
abteilungsinternen Umsetzungs-  
problemen wenden.

*Sylvia Harms  
Mitglied der Personalvertretung*

Separata bitte mit Talon auf der letzten Seite bestellen

# Publikationen

- 2271 **Wild, D.** (1997): Nährstoffflüsse in Kläranlagen mit biologischer Phosphorelimination, Diss. ETHZ Nr. 12 197, Zürich.
- 2272 **Baumann, B.** (1997): Dynamics of denitrification in *Paracoccus denitrificans*, Diss. ETHZ No. 12 096, Zürich.
- 2273 **Ferrari, S.** (1997): Chemische Charakterisierung des Kohlenstoffes in Rückständen von Müllverbrennungsanlagen Methoden und Anwendungen, Diss. ETHZ Nr. 12 200, Zürich und Dübendorf.
- 2274 **Simon, A.** (1997): Turbulent mixing in the surface boundary layer of lakes, Diss. ETHZ No. 12 272, Zürich.
- 2275 **Wellnitz, T.A.** (1997): Biotic and abiotic constraints on algal communities in streams the role of light, nutrients, scouring and herbivory, Diss. ETHZ No. 12 301, Zürich.
- 2276 **Bloesch, J.** (1997): Revitalisierung der Fliessgewässer im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees, Mitt. Naturforsch. Ges. Luzern 35, 9–28.
- 2277 **Baccini, P.** (1997): A city's metabolism towards the sustainable development of urban systems, J. Urban Technol. 4, No. 2, 27–39.
- 2278 **van der Wal, A., Norde, W., Bendinger, B., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Chemical analysis of isolated cell walls of gram-positive bacteria and determination of the cell wall to cell mass ratio, J. Microbiol. Methods. 28, 147–157.
- 2279 **van der Wal, A., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Determination of the total charge in the cell walls of gram-positive bacteria, Colloids & Surfaces B Biointerfaces 9, 81–100.
- 2280 **Larsen, T.A., Gujer, W.** (1997): The concept of sustainable urban water management, Water Sci. Technol. 35, No. 9, 3–10.
- 2281 **Krebs, P., Larsen, T.A.** (1997): Guiding the development of urban drainage systems by sustainability criteria, Water Sci. Technol. 35, No. 9, 89–98.
- 2282 **von Gunten, U., Oliveras, Y.** (1997): Kinetics of the reaction between hydrogen peroxide and hydrobromous acid implication on water treatment and natural systems, Water Res. 31, No. 4, 900–906.
- 2283 **Maurer, M., Gujer, W., Hany, R., Bachmann, S.** (1997): Intracellular carbon flow in phosphorus accumulating organisms from activated sludge systems, Water Res. 31, No. 4, 907–917.
- 2284 **Wild, D., Kisliakova, A., Siegrist, H.** (1997): Prediction of recycle phosphorus loads from anaerobic digestion, Water Res. 31, No. 9, 2300–2308.
- 2285 **Holliger, C., Gaspard, S., Glod, G., Hejman, C., Schumacher, W., Schwarzenbach, R.P., Vazquez, F.** (1997): Contaminated environments in the subsurface and bioremediation organic contaminants. FEMS Microbiol. Reviews. 20, 517–523.
- 2286 **Schumacher, W., Holliger, C., Zehnder, A.J.B., Hagen, W.R.** (1997): Redox chemistry of cobalamin and iron-sulfur cofactors in the tetrachloroethene reductase of *Dehalobacter restrictus*, FEBS Letters 409, 421–425.
- 2287 **Morris, E.M., Bader, H.-P., Weilenmann, P.** (1997): Modelling temperature variations in polar snow using DAISY, J. Glaciology 43, No. 143, 180–191.
- 2288 **Livingstone, D.M., Imboden, D.M.** (1997): Reply – the prediction of hypolimnetic oxygen profiles a plea for a deductive approach, Canad. J. Fisheries & Aquatic Sci. 54, No. 3, 740–741.
- 2289 **Genoni, G.P.** (1997): Towards a conceptual synthesis in ecotoxicology, Oikos 80, 96–106.
- 2290 **Kovárová, K., Käch, A., Chaloupka, V., Egli, T.** (1996): Cultivation of *Escherichia coli* with mixtures of 3-phenylpropionic acid and glucose dynamics of growth and substrate consumption, Biodegradation 7, 445–353.
- 2291 **Kovárová, K., Käch, A., Zehnder, A.J.B., Egli, T.** (1997): Cultivation of *Escherichia coli* with mixtures of 3-phenylpropionic acid and glucose steady-state growth kinetics, Appl. Environ. Microbiol. 63, No. 7, 2619–2624.
- 2292 **Knauer, K., Behra, R., Sigg, L.** (1997): Adsorption and uptake of copper by the green alga *Scenedesmus subspicatus* (Chlorophyta), J. Phycology 33, 596–601.
- 2293 **Egli, T.** (1997): Multiple-nutrient-limited growth of microorganisms what are the consequences for bioremediation processes? In «Environmental Biotechnology, Part I», H. Verachtert, W. Verstraete (Eds.). Int. Sympos. of 94<sup>th</sup> event Eur. Fed. Biotechnology, Oostende, April 21–23, pp. 189–193.
- 2294 **Suske, W.A., Held, M., Schmid, A., Fleischmann, T., Wubbolts, M.G., Kohler, H.-P.E.** (1997): Purification and characterization of 2-hydroxybiphenyl 3-monoxygenase, a novel NADH-dependent, FAD-containing aromatic hydroxylase from *Pseudomonas azelaica* HBP1, J. Biol. Chem. 272, No. 39, 24 257–24 265.
- 2295 **Kohler, H.-P.E., Zipper-Duss, C., Nickel, K.** (1997): Umweltdynamik chiraler Schadstoffe – die Notwendigkeit einer Stereoisomeren-spezifischen Betrachtung, In «Umwelt und Chemie», E. Bayer, K. Ballschmitter et al. (Eds.). Bd. 8, Monogr. Ges. Dt. Chemiker, Ulm, S. 263–372.
- 2296 **Stemmler, K., Mengon, W., Kerr, J.A.** (1997): Hydroxyl-radical-initiated oxidation of isobutyl isopropyl ether under laboratory conditions related to the troposphere. Product studies and proposed mechanism, J. Chem. Soc., Faraday Trans. 93 (16), 2865–2875.
- 2297 **Bader, H.-P., Baccini, P.** (1997): System-Modelle und Simulations-Programme im Umweltmanagement – Eine kritische Analyse zum Stand der Technik, GAIA 5, No. 6, 263–275.
- 2298 **Goss, K.-U.** (1997): Considerations about the adsorption of organic molecules from the gas phase to surfaces: Implications for inverse gas chromatography and the prediction of adsorption coefficients, J. Colloid & Interface Sci. 190, 241–249.
- 2299 **Gasol, J.M., Zehnder, A.J.B.** (1997): Note: A simple method for the detection and the «a posteriori» correction of the interference of sulfide on phosphorus measurements, Sci. Marina 61 (2), 213–219.
- 2300 **Boller, M.** (1995): Die Rolle der Siedlungsentwässerung bei der Schadstoffanreicherung in Böden, EAWAG news 38D, 17–21.
- 2301 **Binswanger, S., Siegrist, H., Lais, P.** (1997): Simultane Nitrifikation/Denitrifikation von stark ammoniumbelasteten Abwässern ohne organische Kohlenstoffquellen, Korrespondenz Abwasser 44, Nr. 9, 1573–1580.
- 2302 **Bratrich, C., Bloesch, J.** (1997): Zeitgemässer Hochwasserschutz an Fliessgewässern. Chancen und Grenzen einer neuen Philosophie am Beispiel der Engel-

- berger Aa, Wasser, Energie, Luft 89, H. 5/6, 123–130.
- 2303 **Stoll, J.-M.A., Giger, W.** (1997): Determination of detergent-derived fluorescent whitening agent isomers in lake sediments and surface waters by liquid chromatography, *Analyt. Chem.* 69, No. 13, 2594–2599.
- 2304 **Xue, H., Sunda, W.G.** (1997): Comparison of  $[Cu^{2+}]$  measurements in lake water determined by ligand exchange and cathodic stripping voltammetry and ion-selective electrode, *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 7, 1902–1909.
- 2305 **Müller, S.R., Berg, M., Ulrich, M.M., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Atrazine and its primary metabolites in Swiss lakes input characteristics and long-term behavior in the water column, *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 7, 2104–2113.
- 2306 **Arnold, C.G., Weidenhaupt, A., David, M.M., Müller, S.R., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Aqueous speciation and 1-octanol-water partitioning of tributyl- and triphenyltin effect of pH and ion composition, *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 9, 2596–2602.
- 2307 **Weidenhaupt, A., Arnold, C.G., Müller, S.R., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Sorption of organotin biocides to mineral surfaces, *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 9, 2603–2609.
- 2308 **Klausen, J., Haderlein, S.B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Oxidation of substituted anilines by aqueous  $MnO_2$  effect of co-solutes on initial and quasi-steady-state kinetics, *Environ. Sci. & Technol.* 31, No. 9, 2642–2649.
- 2309 **Krejci, V., Schilling, W., Gamme-ter, S.** (1994): Receiving water protection during wet weather, *Water Sci. Tech.* 29, Nr. 1–2, 219–229.
- 2310 **Hug, S.J., Bürge, I.J., Weidler, P.G.** (1997): Transformations of chromium in the environment, *Analisis Magazine* 25, No. 7, M12–M15.
- 2311 **Suter, M.J.F., Riediker, S., Zipper, C., Kohler, H.P.E., Giger, W.** (1997): Polar organic compounds in landfill leachates, *Analisis Magazine* 25, No. 7, M23–M29.
- 2312 **von Gunten, U., Elviovitz, M., Kaiser, H.P.** (1997): Characterization of ozonation processes with conservative and reactive tracers prediction of the degradation of micropollutants, *Analisis Magazine* 25, No. 7, M29–M31.
- 2313 **Stemmler, K., Mengon, W., Kinnison, D.J., Kerr, J.A.** (1997): OH radical-initiated oxidation of 2-butoxyethanol under laboratory conditions related to the troposphere product studies and proposed mechanism, *Environ. Sci. & Technol.* 31, 1496–1504.
- 2314 **Seefeld, S., Kerr, J.A.** (1997): Kinetics of the reactions of propionylperoxy radicals with NO and  $NO_2$  peroxypropionyl nitrate formation under laboratory conditions related to the troposphere, *Environ. Sci. & Technol.* 31, 2949–2953.
- 2315 **Peeters, F., Kipfer, R., Hohmann, R., Hofer, M., Imboden, D.M., Kodenev, G.G., Khozder, T.** (1997): Modeling transport rates in lake Baikal gas exchange and deep water renewal, *Environ. Sci. & Technol.* 31, 2973–2982.
- 2316 **Glod, G., Brodmann, U., Angst, W., Holliger, C., Schwarzenbach, R.P.** (1997): Cobalamin-mediated reduction of *cis*- and *trans*-dichloroethene, 1,1-dichloroethene, and vinyl chloride in homogeneous aqueous solution reaction kinetics and mechanistic considerations, *Environ. Sci. & Technol.* 31, 3154–3160.
- 2317 **Sedlak, D.L., Hoigné, J., David, M.M., Colville, R.N., Seyffer, E., Acker, K., Wiepercht, W., Lind, J.A., Fuzzi, S.** (1997): The cloudwater chemistry of iron and copper at Great Dunfell, U.K., *Atmospheric Environment* 11, No. 16, 2515–2526.
- 2318 **Schosseler, P.M., Wehrli, B., Schweiger, A.** (1997): Complexation of copper(II) with carbonate ligands in aqueous solution a CW and pulse EPR study, *Inorg. Chem.* 36, No. 20, 4490–4499.
- 2319 **Sticher, P., Jaspers, M.C.M., Stemmler, K., Harms, H., Zehnder, A.J.B., van der Meer, J.R.** (1997): Development and characterization of a whole-cell bioluminescent sensor for bioavailable middle-chain alkanes in contaminated groundwater samples, *Appl. Environ. Microbiol.* 63, No. 10, 4053–4060.
- 2320 **Fioramonti, E., Semlitsch, R.D., Reyer, H.-U., Fent, K.** (1997): Effects of triphenyltin and pH on the growth and development of *Rana lessonae* and *Rana esculenta* tadpoles, *Environ. Toxicol. & Chem.* 16, No. 9, 1940–1947.
- 2321 **Boller, M., Tschui, M., Gujer, W.** (1997): Effects of transient nutrient concentrations in tertiary biofilm reactors, *Water Sci. Tech.* 36, No. 1, 101–109.
- 2322 **Koch, G., Siegrist, H.** (1997): Denitrification with methanol in tertiary filtration at wastewater treatment plant Zürich-Werdhölzli, *Water Sci. Tech.* 36, No. 1, 165–172.
- 2323 **Bürgi, H.-R., Uehlinger, U.** (1997): Die Algenbiozönose eines Gletscherbaches im Einzugsgebiet der Donau, *Wiss. Referate Internat. Arbeitsgemeinschaft für Donauforschung*, 32. Konferenz der IAD, Limnol. Ber. Donau, Wien, S. 133–136.
- 2324 **Eisenmann, H., Traunspurger, W., Meyer, E.I.** (1997): A new device to extract sediment cages colonized by microfauna from coarse gravel river sediments, *Arch. Hydrobiol.* 139, No. 4, 547–561.
- 2325 **Mengis, M., Gächter, R., Wehrli, B.** (1997): Sources and sinks of nitrous oxide ( $N_2O$ ) in deep lakes, *Biogeochem.* 38, 281–301.
- 2326 **Tockner, K., Schiemer, F.** (1997): Ecological aspects of the restoration strategy for a river-floodplain system on the Danube River in Austria, *Global Ecol. & Biogeography Lett.* 6, 321–329.
- 2327 **Tien, A.J.** (1997): The physiology of a defined four-membered mixed bacterial culture during continuous cultivation with mixtures of three pollutants in synthetic sewage, *Diss. ETHZ* No. 11 905, Zürich.
- 2328 **Knobel, H.-R.** (1997): Genetic study of bacterial nitrilotriacetate degrading enzymes, *Diss. ETHZ* No. 12 146, Zürich.
- 2329 **Seefeld, S.** (1997): Laboratory kinetic and atmospheric modelling studies of the role of peroxyacyl nitrates in tropospheric photo-oxidant formation, *Diss. ETHZ* No. 12 235, Zürich.
- 2330 **Fesch C.** (1997): Transport of organic pollutants in aggregated media effects of nonlinear and competitive sorption under unsaturated conditions, *Diss. ETHZ* No. 12 225, Zürich.
- 2331 **Stoll, J.-M.A.** (1997): Fluorescent whitening agents in natural waters, *Diss. ETHZ* No. 12 355, Zürich.
- 2332 **Schäfer, A.** (1997): Bacterial transport and pollutant degradation influences of

air-water interfaces and solid surfaces, Diss. ETHZ No. 12 416, Zürich.

2333 **Reiser, R., Toljander, H., Albrecht, A., Giger, W.** (1997): Alkylbenzenesulfonates in recent lake sediments as molecular markers for the environmental behavior of detergent-derived chemicals, In «Molecular markers in environmental geochemistry», Eganhouse, R.P. (Ed.), chapter 13. Amer. Chem. Soc., Symposium Ser. 671, Washington, pp. 196–212.

2334 **Stoll, J.-M.A., Poiger, T.F., Lotter, A.F., Sturm, M., Giger, W.** (1997): Fluorescent whitening agents as molecular markers for domestic wastewater in recent sediments of Greifensee, Switzerland, In «Molecular markers in environmental geochemistry», Eganhouse, R.P., (Ed.). Amer. Chem. Soc., Washington. pp. 231–241.

2335 **Matthäi, C.D., Werthmüller, D., Frutiger, A.** (1997): Invertebrate recovery from a bed-moving spate the role of drift versus movements inside or over the substratum, Arch. Hydrobiol. 140/2, 221–235.

2336 **Tockner, K., Malard, F., Burgherr, P., Robinson, C.T., Uehlinger, U., Zah, R., Ward, J.V.** (1997): Physico-chemical characterization of channel types in a glacial floodplain ecosystem (Val Roseg, Switzerland), Arch. Hydrobiol. 140/4, 433–463.

2337 **Fent, K.** (1997): Perspektiven und Probleme in der Ökotoxikologie. 5. Statuskolloquium Projekt «Angewandte Ökologie», Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 22, 223–229.

2338 **Suter, M.J.-F.** (1997): The determination of polar compounds in the aquatic environment, In «Selected topics and mass spectrometry in the biomolecular sciences». R.M. Caprioli et al. (Eds.). Kluwer Academic Publ., Dordrecht, pp.559–573.

2339 **Schlatter, J.W., Wüest, A., Imboden, D.M.** (1997): Hypolimnetic density currents traced by sulphur hexafluoride (SF<sub>6</sub>), Aquatic Sci. 59, 225–242.

2340 **Stumm, W.** (1998): [Water] properties, In «Kirk/Othmer Encyclopedia of chemical technology», 4th Ed., John Wiley & Sons, New York 1998, Vol. 25., pp. 382–405.

2341 **Strauss, M., Larmie, S.A., Heinss, U.** (1997): Treatment of sludges from on-site sanitation low-cost options, Water Sci. Tech. 35, No. 6, 129–136.

2342 **Boller, M., Kobler, D., Koch, G.** (1997): Particle separation, solids budgets and headless development in different bio-filters, Water Sci. Tech. 36, No. 4, 239–247.

2343 **Kobler, D., Boller, M.** (1997): Particle removal in different filtration systems for tertiary wastewater treatment – a comparison, Water Sci. Tech. 36, No. 4, 259–267.

2344 **Reichert, P.** (1997): On the necessity of using imprecise probabilities for modelling environmental systems, Water Sci. Tech. 36(5), 149–156.

2345 **Carstensen, J., Vanrolleghem, P., Rauch, W., Reichert, P.** (1997): Terminology and methodology in modelling for water quality management – a discussion starter, Water Sci. Tech. 36(5), 157–168.

2346 **Kersten M., Moor H.C., Johnson C.A.** (1997): Speciation of trace metals in leachate from a MSWI bottom ash landfill, Appl. Geochem., 12, 675–683.

2347 **Koch, G., Siegrist, H.** (1997): Denitrification with methanol in tertiary filtration, Water Res. 31, No. 12, 3029–3038.

2348 **Langenhoff, A.A.M., Nijenhuis, Y., Tan, N.C.G., Briglia, M., Zehnder, A.J.B., Schraa, G.** (1997): Characterisation of a manganese-reducing, toluene-degrading enrichment culture, FEMS Microbiol. Ecol. 24, 113–125.

2349 **Jucker, B.A., Harms, H., Hug, S.J., Zehnder, A.J.B.** (1997): Adsorption of bacterial surface polysaccharides on mineral oxides is mediated by hydrogen bonds, Colloids & Surfaces 9, 332–343.

2350 **Leveau, J. H. J., van der Meer, J.R.** (1997): Genetic characterization of insertion sequence ISJP4 on plasmid pJP4 from *Ralstonia eutropha* JMP134, Gene 202, 103–114.

2351 **von Gunten, U., Oliveras, Y.** (1998): Advanced oxidation of bromide-containing waters bromate formation mechanisms, Environ. Sci. & Technol. 32, 63–70.

2352 **van der Wal, A., Minor, M., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Conductivity and dielectric dispersion of gram-positive bacterial cells, J. Colloids & Interface Sci. 186, 71–79.

2353 **van der Wal, A., Minor, M., Norde, W., Zehnder, A.J.B., Lyklema, J.** (1997): Electrokinetic potential of bacterial cells, Langmuir 13, 165–171.

2354 **Kovárová, K., Egli, T.** (1997): Effects of naturally occurring substrates on the biodegradation of pollutants at low concentrations, In «Environmental Biotechnology», Part I, Verachtert, H., Verstraete, W. (Eds.). Int. Sympos., 94<sup>th</sup> event Eur. Fed. Biotechnology, Oostende, April 21–23, pp. 99–103.

2355 **Egli, T.** (1997): Biodegradation of pollutants at extremely low concentrations and in the presence of easily degradable organic carbon of natural origin, In «Biotechnology for Water Use and Conservation», The Mexico '96 Workshop, OECD Documents, Paris, pp. 271–276.

2356 **Egli, T., Durner, R.** (1997): Microbial growth under multiple-nutrient-limited cultivation conditions, with special reference to the accumulation of PHA, Proc. 1996 Internat. Sympos. on Bacterial Polyhydroxyalkanoates, Davos, Switzerland, G. Eggink et al. (Eds.), NRC Press, Ottawa, pp. 171–177.

2357 **Nickel, K., Suter, M.J.-F., Kohler, H.-P.E.** (1997): Involvement of two  $\alpha$ -ketoglutarate-dependent dioxygenases in enantioselective degradation of (*R*)- and (*S*)-Mecoprop by *Sphingomonas herbicidovorans* MH, J. Bacteriol. 179, No. 21, 6674–6679.

2358 **Witschel, M., Nagel, S., Egli, T.** (1997): Identification and characterization of the two-enzyme system catalyzing the oxidation of EDTA in the EDTA-degrading bacterial strain DSM 9103, J. Bacteriol. 179, 6937–6943.

2359 **Reiser R., Toljander H., Giger, W.** (1997): Determination of Alkylbenzenesulfonates in recent sediments by gas chromatography/mass spectrometry, Analyt. Chem. 69(23), 4923–4930.

2360 **Giger, W.** (1997): Trace determinations of individual organic pollutants – 25 years of research at the Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG), Chimia 51, No. 10, 729–732.

2361 **Müller, S.R.** (1997): Quantifying the dynamics of pesticides in natural waters, Chimia 51, No. 10, 753–755.

2362 **Giger, W., Sigg, L.** (1997): Homage to Werner Stumm, Kurt Grob, and Jürg Hoigné, Chimia 51, No. 12, 859–860.

2363 **Wehrli, B., Schwarzenbach, R.P.** (1997): From molecules to ecosystems topics, challenges, and players in environmental chemistry, *Chimia*, 51, No. 12, 865–870.

2364 **Suter, M.J.-F., Alder, A.C., Berg, M., McArdell, C.S., Riediker, S., Giger, W.** (1997): Determination of hydrophilic and amphiphilic organic pollutants in the aquatic environment, *Chimia*, 51, No. 12, 871–877.

2365 **Hug, S.J., Johnson, A., Friedl, G., Lichtensteiger, T., Belevi, H., Sturm, M.** (1997): Characterization of environmental solids and surfaces, *Chimia*, 51, No. 12, 884–892.

2366 **Sulzberger, B., Canonica, S., Egli, T., Giger, W., Klausen, J., von Gunten, U.** (1997): Oxidative transformations of contaminants in natural and in technical systems, *Chimia*, 51, No. 12, 900–907.

2367 **Schwarzenbach, R.P., Angst, W., Holliger, C., Hug, S.J., Klausen, J.** (1997): Reductive transformations of anthropogenic chemicals in natural and technical systems, *Chimia*, 51, No. 12, 908–914.

2368 **Escher, B.I., Behra, R., Eggen, R.I.L., Fent, K.** (1997): Molecular mechanisms in ecotoxicology an interplay between environmental chemistry and biology, *Chimia*, 51, No. 12, 915–921.

2369 **Alder, A.C., Siegrist, H., Fent, K., Egli, T., Molnar, E., Poiger, T., Schaffner, C., Giger, W.** (1997): The fate of organic pollutants in wastewater and sludge treat-

ment significant processes and impact of compound properties, *Chimia*, 51, No. 12, 922–928.

2370 **Müller, S.R., Wehrli, B., Wüest, A., Xue, H., Sigg, L.** (1997): The fate of trace pollutants in natural waters – lakes as «real-world test tubes», *Chimia*, 51, No. 12, 935–940.

2371 **Kohler, H.-P.E., Angst, W., Giger, W., Kanz, C., Müller, S., Suter, M.J.-F.** (1997): Environmental fate of chiral pollutants – the necessity of considering stereochemistry, *Chimia*, 51, No. 12, 947–951.

2372 **Ward, J.V.** (1998): Riverine landscapes biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation, *Biol. Conservation*, 83, No. 3, 269–278.

2373 **Sigg, L., Goss, K.-U., Haderlein, S., Harms, H., Hug, S.J., Ludwig, C.** (1997): Sorption phenomena at environmental solid surfaces. *Chimia*, 51, 893–899.

2374 **Hofer, M., Aeschbach-Hertig, W., Beyerle, U., Haderlein, S.B., Hoehn, E., Hofstetter, T.B., Johnson, A., Kipfer, R., Ulrich, A., Imboden, D.M.** (1997): Tracers as essential tools for the investigation of physical and chemical processes in groundwater systems. *Chimia*, 51, 941–946.

2375 **Amirbahman, A., Sigg, L., von Gunten, U.** (1997): Reductive dissolution of Fe(III) (hydr)oxides by cysteine: kinetics and mechanism. *J. Coll. & Interface Sci.* 194, 194–206.

Bücher und Schriftenreihe der EAWAG

**Ackermann-Lieblich, U., Arquit Niederberger, A., Becker van Slooten, K., Brunner, U., Bürgenmeier, B., Bürki, T., Dürrenberger, G. et al.:** Visionen der Forschenden. Forschung zu Nachhaltigkeit und Globalem Wandel – Wissenschaftspolitische Visionen der Schweizer Forschenden. ProClim – Forum für Klima und Global Change, Bern 1997, 32 S.

**Forstenlechner, F., Hütte, M., Bundi, U., Eichenberger, E., Peter, A. und Zobrist, J.:** Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung im alpinen Raum, vdf Hochschulverlag an der ETHZ, ISBN 3-7281-2468-0, Zürich, 100 Seiten, 1997.

**Frauenlob, G., Bloesch, J.:** Bibliographie Inn. Schriftenreihe der EAWAG Nr. 11, Dübendorf 1997, 312 S., ISBN 3-906484-15-7.

**Matta, V., Sturm, M., Lotter, A.:** Post-Symposium Excursion F: Lacustrine Environmental Archives of Central Switzerland. 7<sup>th</sup> International Symposium on Paleolimnology. Heiligkreuztal, BRD. 143 p. (1997).

**Rüede, A., Garaventa, A., Hunziker, P.:** Lebendiges Linsental. Ein Forschungsprojekt des Forschungsschwerpunktes der EAWAG 1994–1997. EAWAG, Dübendorf 1997.

**Wegelin, M.:** Traitement d'Eau de Surface par des Préfiltres à Gravier. Un manuel de Conception, de Construction et d'Exploitation. SANDEC Report No. 3/97, Dübendorf 1997.

## BESTELLTALON

45 D

Bitte schicken Sie mir die

EAWAG news in  deutsch  englisch  französisch

Publikationsnummern

Anrede \_\_\_\_\_

Name/Vorname \_\_\_\_\_

Funktion \_\_\_\_\_

Firma/Organisation \_\_\_\_\_

Strasse und Nummer \_\_\_\_\_

Land, PLZ, Stadt \_\_\_\_\_

Telefon \_\_\_\_\_

Telefax \_\_\_\_\_

Bemerkungen

Dies ist eine Adressänderung (alte Adresse)

Datum \_\_\_\_\_



**EAWAG**  
Bibliothek  
CH-8600 Dübendorf